

VESI- JA YMPÄRISTÖHALLITUKSEN MONISTESARJA

Nro 80

ENERGIATALOUDEN

VESISTÖVAIKUTUKSET

Oulun vesistötutkimuspäivät

11. - 12.4.1988

~~#1~~
~~1687~~

V E S I - J A Y M P Ä R I S T Ö H A L L I T U K S E N
M O N I S T E S A R J A

Nro 80
ENERGIATALOUDEN
VESISTÖVAIKUTUKSET
Oulun vesistötutkimuspäivät
11. - 12.4.1988

Vesi- ja ympäristöhallitus
Helsinki 1988

Tekijät ovat vastuussa julkaisun sisällöstä, eikä siihen voida vedota vesi- ja ympäristöhallituksen virallisena kannanottona.

Julkaisua saa Oulun vesi- ja ympäristöpiiristä

ISBN 951-47-0295-6
ISSN 0783-3288

Painopaikka: Vesi- ja ympäristöhallituksen monistamo,
Helsinki 1988

ALKUSANAT

Oulun yliopisto, vesi- ja ympäristöhallinto, Valtion teknillinen tutkimuskeskus ja Ympäristöinstituutti järjestävät yhdessä 11. - 12.4.1988 Oulun vesistötutkimuspäivät, joiden teemana on ENERGIATALOUDEN VESISTÖVAIKUTUKSET. Päivien tarkoituksena on aihepiiriin liittyvien tutkimusten ja niiden tulosten esitleminen, tutkimuksen ja tutkimusyhteistyön tehostaminen ja tutkimustarpeiden määrittäminen Suomessa ja muualla saatujen kokemusten pohjalta.

Vesistötutkimuspäivien toteuttamisesta vastaa järjestelytoimikunta, jonka kokoonpano on seuraava:

MMT Urpo Myllymaa, Pohjois-Suomen Vesioikeus, puheenjohtaja
Professori Seppo Mustonen, vesi- ja ympäristöhallitus
Toimistopäällikkö Hannu Laikari, vesi- ja ympäristöhallitus
Vs. apul.prof. Esko Lakso, Oulun yliopisto
Professori Jussi Hooli, Oulun yliopisto
Dosentti Kalevi Kuusela, Oulun yliopisto
Lab.johtaja Heikki Matala, Valtion teknillinen tutkimuskeskus
Dosentti Erkki Alasaarela, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, sihteeri

Vesistötutkimuspäivät avaa rehtori L. Kalevi Korhonen. Puheenjohtajina toimivat professori Heikki Matala, professori Seppo Mustonen, professori Mauri Määttänen, vt. apulaisprofessori Kalevi Kuusela ja dosentti Veijo Ilmavirta. Käytännön järjestelyt hoitaa Oulun yliopiston täydennyskoulutuskeskus suunnittelija Seppo Collanin ja Arja Karukan johdolla. Ympäristöinstituutin edustajana päivien suunnitteluun ja järjestelyihin osallistuu DI Päivi Saari. Tilaisuuden rahoittaa kauppa- ja teollisuusministeriö.

Oulussa 29.3.1988

Järjestelytoimikunta

OHJELMA JA SISÄLLYSLUETTELO

Maanantai 11.4.1988

sali L2

Puheenjohtaja: professori Heikki Matala

9.00- 9.45	Ilmoittautuminen	
9.45-10.00	Avaus, rehtori L. Kalevi Korhonen, Oulun yliopisto	
10.00-10.30	Vesivoima ja ympäristöpolitiikka, ministeri Kaj Bärlund, ympäristöministeriö.....	7
10.30-11.00	Valtion tehtävät vesistöjen säännöstely hankkeissa, pääjohtaja Simo Jaatinen, vesi ja ympäristöhallitus.....	12
11.00-12.00	Lounastauko	
	VESISTÖJEN SÄÄNNÖSTELY Puheenjohtaja prof. Seppo Mustonen, vesi- ja ympäristöhallitus	
12.00-12.40	Säännöstelyn vaikutus vesistön hydrologiaan, FT Esko Kuusisto, vesi- ja ympäristöhallitus.....	25
12.40-13.30	Voimatalouden vaikutukset Kemijärvässä - Kemijärven tila- ja kalatalousprojekti, FK Marjaleena Nenonen, Kemijoen vesiensuojeluyhdistys ja MMK Outi Heikinheimo-Schmidt, RKTL	32
13.30-14.00	Kahvitauko	
14.00-14.40	Ekologiset näkökohdat Pohjois-Suomen järvien säännöstelyssä, FT Erkki Ala-saarela, VTT.....	54
14.40-15.20	Järvisäännöstelyn kalataloudellisten vaikutusten kuvaaminen matemaattisen mallin avulla, MML Tom Frisk, vesi- ja ympäristöhallitus.....	66
15.20-16.00	Energiataloudelliset näkökohdat järvien säännöstelyssä, DI Jouko Mikola, IVO.....	71
18.00-20.00	Iltatilaisuus, Madetojan sali, Lintulammentie 3	

Tiistai 12.4.1988

sali L2

JAOS I: JÄÄT JA JÄÄHDYTYSVEDET,
puheenjohtaja prof. Mauri Määttänen, Oulun yliopisto

8.30- 9.20	Jokijäätutkimusprojekti, DI Markku Maunula, vesi- ja ymp.hall. ja FK Mikko Huokuna, Ins.tsto Reiter Ky....	83
9.20- 9.30	Tauko	
9.30-10.00	Käytännön kokemuksia suppo- ja jääpa-doista ja niiden torjunnasta, TkL Esko Lakso, Oulun yliopisto.....	96
10.00-10.30	Kahvitauko	
10.30-11.30	Fisk i kylvattenrecipienter - erfarenheter och utveclingsmöjligheter, Dr. Erik Neumann och Dr. Ulof Sandström, Statens naturvårdverk, Öregrund.....	104
11.30-11.40	Tauko	
11.40-12.15	Haapaveden turvevoimalaitoksen jäähdytysvesien vesistövaikutukset, DI Leena Nurmento, IVO.....	114

sali L4

JAOS II: VESISTÖJEN SÄÄNNÖSTELY,
puheenjohtaja vt. apul.prof. Kalevi Kuusela, Oulun yliopisto

8.30- 9.20	Öringfiskevård i älvmagasinen, Dr. Adam Gönczi, Fiskeristytelsen, Härnösand.....	120
9.30-10.00	Miten Oulujoen vesistön kalataloutta voitaisiin kehittää? FK Kalervo Salojärvi, RKTL, FK Risto Salmela, IVO ja FK Kari Hanski, Oulun kaupunki.....	127
10.30-11.30	Säännöstelyn vaikutus järven rantojen rakenteeseen ja eliöstöön, FK Seppo Hellsten, VTT, FK Reijo Keränen, Ylä-Savon Instituutti ja FK Pertti Tikkanen, Oulun yliopisto.....	138
11.40-12.15	Säännösteltyjen järvien rantojen kunnostaminen, DI Erkki Ollila, Kainuun vesi- ja ympäristöpiiri.....	166

12.15-13.15

Lounastauko

13.15-15.30

MITEN TÄSTÄ ETEENPÄIN?

Puheenjohtaja dos. Veijo Ilmavirta,
Maj ja Tor Nesslingin säätiö

Keskustelu säännöstelltyjen vesistöjen
kunnostus- ja tutkimustarpeista

Puheenvuorot

Opettaja Matti Tikkanen..... 173

DI Matti Raivio, vesi- ja ympäris-
töhallitus

DI Seppo Moilanen, Kainuun vesi- ja
ympäristöpiiri

FK Risto Palomäki, Jyväskylän yliopis-
to ja FL Esa Koskenniemi, Vaasan vesi-
ja ympäristöpiiri..... 178

FK Ari Huusko, RKTL..... 180

Apul. prof. Esko A. Lind, Oulun yli-
opisto..... 183

15.30-16.00

Yhteenvedo seminaarista ja päätös-
sanat, dos. Veijo Ilmavirta, prof.
Seppo Mustonen

Ympäristöministeri Kaj Bärlund.

VESIVOIMA JA YMPÄRISTÖPOLITIIKKA

Vesivoiman hyväksikäytön ja ympäristönsuojelun väliset ristiriidat ovat jo parin vuosikymmenen ajan olleet näkyvästi esillä. Vesivoiman puoltajat ovat tähdentäneet vesivoiman etuja, joita ovat välttyminen päästöistä ilmaan, alhaiset käyttö- ja ylläpitokustannukset sekä kotimaisuus. Yhdysvaltalainen ympäristönsuojelualan kirjailija Barry Commoner on ottanut yhdeksi ekologian peruslaiksi liikemaailmassa syntyneen sanonnan "Ei ole olemassa ilmaista lounasta". Jotta vesivoima voidaan muuttaa sähköksi, edellytetään usein hyvin laajamittaista vesirakentamista. Laitosten taloudellinen käyttö edellyttää lisäksi vesistöjen säännösteilyä. Vesistötutkimuspäivien ohjelmassa arvioidaan laajalti vesivoiman käytön vaikutuksia - erään lounaan hintaa vesiluonnolle ja ihmisille.

Vesivoiman rakentamiseen kohdistuvan arvostelun yhtenä syynä on ollut, että vesistömme ovat vuosisatojen mittaan jo muutoinkin joutuneet ihmisen aiheuttamien muutosten kohteiksi. Noin 3000 järveä on laskettu tai kuivattu viljelymaan toivossa. Vesiliikenteen tarpeisiin on rakennettu tai perattu vesistöjä noin 6000 kilometrin matkalta. Uittoon varten on perattu vesistöjä noin 40 000 kilometrin matkalta. Vesivoiman rakentaminen on kohdistunut osaksi vesistöihin, jotka olivat säilyneet kohtalaisen hyvin muilta muutoksilta.

1970-lukua voitaisiin nimittää koskisotien vuosikymmeneksi. Vesistöjen varsilla syntyi kansallisliikkeitä puolustamaan virtaavien vesien luontoa. Yhteenotot kansalaisten, vesivoiman rakentajien ja vesiviranomaisten välillä olivat ajoittain kärkeviä, kun otetaan huomioon yhteiskunnassa muutoin vallinneet suhteellisen rauhalliset olot. Ympäristönsuojelun painoarvo kasvoi samaan aikaan sekä yleisessä mielipiteessä, poliittisessa päätöksenteossa että hallinnossa.

Energiataloudessa tapahtui 1970-luvun loppuun tultaessa selviä muutoksia. Energiankulutus ja -tuotanto saavuttivat mittasuhteet, joissa uusien vesivoimahankkeiden lisäys energiantuotantoon näyttäytyi varsin pienenä. Tilanne oli vesivoiman suhteen aivan erilainen kuin sodanjälkeisinä vuosina, jolloin suurilla vesivoimahankkeilla oli keskeinen merkitys yhteiskunnan talouden jälleenrakentamiselle. Nämä seikat vaikuttivat siihen, että uuden vesivoiman rakentamismahdollisuudet nähtiin 1970-80 lukujen vaihteessa laajalti loppuunkäytetyiksi.

Virtaavien vesien suojelua alettiin 1970-luvulla tutkia aluksi tiedemiespiireissä ja sittemmin valtion ympäristöhallinnossa. 1970-luvun alussa julkaistu kansainvälinen Project Aqua -ohjelma nosti kysymyksen esiin. Sittemmin asiaa tarkasteltiin maa- ja metsätalousministeriön suojeluvesityöryhmässä ja koskiensuojelutoimikunnassa. Voimakas kansanliike johti Ounasjoen suojelua koskevan lain syntyyn vuonna 1982. Muilta osin koskiensuojelu tuli ympäristöministeriön tehtäväksi ministeriön perustamisesta lähtien. Ympäristöministeriön asettaman työryhmän ehdotus luovutettiin vuonna 1984. Ehdotuksesta saatujen lausuntojen evästäjänä aloitettiin koskiensuojelulain valmistelu vuonna 1985. Hallituksen esitys koskiensuojelulaiksi annettiin eduskunnalle 14.3.1986.

Koskiensuojelulaki kävi lyhyessä ajassa läpi erittäin värikkään käsittelyn eduskunnassa, joka hyväksyi lain syysistuntokauden päätteeksi 1986. Laki tuli voimaan helmikuun alussa 1987.

Koskiensuojelulaki estää uuden voimalaitoksen rakentamisen tietyissä vesistöissä. Muilta osin se ei puutu vesilain sääntelyjärjestelmään. Lakiin sisältyy 53 vesistöä tai vesistön osaa. Osa suojelluista vesistöistä käsittää suuria ja yleisesti tunnettuja koskia, joiden tulevaisuudesta oli kiistelty pitkään. Joukossa on myös tuntemattomampia vesistöjä, joilla on kuitenkin arvoa vesiluontomme alueellisten erityispiirteiden suojelun, virkistyskäytön, tutkimuksen ja

matkailun kannalta. Tässä mielessä koskiensuojelulailla on yhtäläisyyksiä luonnonsuojeluohjelmien kanssa. Vesilainsäädännön erityispiirteiden vuoksi ei pysyvää suojelua kuitenkaan olisi saatu aikaan pelkällä valtioneuvoston päätöksellä, vaan oli välttämätöntä säätää erillinen laki korvausjärjestelmiseen.

Koskiensuojelulain myötä päättyi yksi vaihe vesiemme käytön historiassa. On aika arvioida tulevia tehtäviä. Koskiensuojelulain ulkopuolelle jäi kaksi huomattavaa kiistanaihetta, nimittäin Kyrönjoki ja Vuotos.

Kyrönjoki jäi koskiensuojelulain ulkopuolelle siksi, että sen rakentamista koskevat valtion ja yksityisen yhtiön väliset sopimukset muodostivat muista vesistöistä poikkeavan oikeudellisen tilanteen. Kyrönjoen suojelua käsitellään nyt erilliskysymyksenä. Ympäristöministeriö on neuvotellut asiasta maa- ja metsätalousministeriön kanssa. On olemassa mahdollisuuksia siihen, että voimalaitosten rakentaminen voidaan estää ja tulvasuojelu samalla kuitenkin kohtuullisesti hoitaa. Asian hallinnollis-oikeudellista puolta selvittänyt työryhmä sai mietintönsä valmiiksi 31.12.1987. Kyrönjoella on kysymys paitsi suojeltavista maiseman ja luonnon arvoista, myös vesirakentamisen aiheuttamien laaja-alaisten veden laatuun kohdistuvien haittojen estämisestä.

Vuotoksen allashankkeesta päätettiin luopua valtioneuvoston päätöksellä vuonna 1982. Ympäristöministeriön lähtökohtana on, että päätöstä edelleen noudatetaan. Hankkeen uudelleenläämittäminen on alueen asukkaiden kannalta moraalitonta. Alueelle, osaksi valtion tuella asettuneiden ihmisten tulee saada jatkaa elämäänsä rauhassa. Vuosikausien epävarmuudesta on viimeinkin päästävä eroon. Loppujen lopuksi Vuotoksen altaan energiataloudelliset hyödyt olisivat kuitenkin kokonaisuuden kannalta pienet.

Vesien moninaiskäytön antamat mahdollisuudet sekä aineellisen että henkisen hyvinvoinnin edistämiselle tunnustetaan jo laajasti. Vesiviranomaiset ja kalatalousviranomaiset ovat viime vuosina tehneet paljonkin vesien kunnostustöitä, jotka parantavat vesien virkistyskäytön, kalatalouden ja matkailun edellytyksiä. Osittain nämä pyrkimykset kohdistuvat koskiensuojelulain vesistöihin. On kuitenkin myös laajoja lakiin kuulumattomia vesistöjä, joiden moninaiskäytön parantamiseksi on tarvetta. Hyvä esimerkki on Vantaanjoki, jonka kunnostustoimet palvelevat tuhansia ihmisiä. Samantapaisia kulttuurin leimaamia vesistöjä, joiden kunnostus olisi tarpeen on useita.

Nykyisten vesivoimaloiden käytöstä aiheutuvia haittoja tulisi myös rohjeta tarkastella uudelleen. Kalateiden rakentaminen on monissa tapauksissa laiminlyöty tai tekniikkaa ei ole hallittu. Voimalaitokset saattavat olla vaelluskaulojen kulun esteinä vesistöissä, joiden kalataloudellinen merkitys voisi muutoin olla hyvinkin suuri.

Järvien säännöstely on voimatalouden laaja-alaisimpia vesistövaikutuksia. Esimerkiksi Kainuun järvien nykyinen säännöstely on varsin voimaperäistä. Esimerkiksi suuret järvet Oulujärvi, Kianta, Ontojärvi ja Vuokkijärvi ovat voimakkaasti säännösteltyjä. Haitat näkyvät maisemassa ja luonnossa. Muutoksia luonnon toiminnoissa on osoitettu myös tieteellisessä tutkimuksessa. On aiheellista kysyä, ovatko Oulujoen sähköntuotannosta nykyisin saatavat hyödyt todella aiheutuvia haittoja merkityksellisempiä.

Voimatalous ei ole ainoa vesien luontoa muuttava taloudellisen toiminnan muoto. Aivan viime vuosinakin on syntynyt ristiriitoja muun muassa tulvasuojelun ja ympäristönsuojelun välille. Samalla, kun voimatalous on koskiensuojelulla saatettu tiettyjen rajoitusten piiriin, olisi myös turvattava, ettei suojelun arvoisia vesistöjä pilattaisi muulla vesirakentamisella. Hankkeiden ympäristövaikutusten arviointiin ennakolta on kiinnitettävä enemmän huomiota, mihin velvoittaa tiukennettu vesilakikin.

Mikäli vesien käytön suunnittelussa pyritään ympäristönsuojeluseikkojen parempaan huomioonottamiseen, aiheutuu tästä uusia haasteita myös vesiviranomaisille ja vesientutkimukselle. Vesirakentamisessa tekninen ote on ollut ymmärrettävästi enemmän painottuneena. Uudenlainen tavoiteasettelu edellyttää myös vesiluonnon, sen ekosysteemien ja eliöiden tutkimuksen kehittämistä. Näiden päivien ohjelman otsikot osoittavat, että mielenkiintoa ja toimenpiteitä asiassa on jo olemassa.

Pääjohtaja Simo Jaatinen
Vesi- ja ympäristöhallitus

VALTION TEHTÄVÄT VESISTÖJEN SÄÄNNÖSTELYHANKKEISSA

1. Yleistä

Vesistön säännöstelyllä tarkoitetaan vesistön luonnonmukaisen vedenjuoksun muuttamista jatkuvin toimenpitein siten, että tulos virtaaman tai vedenkorkeuden tahi kummankin suhteen vastaa paremmin olemassa olevia tarpeita. Vesistön säännöstelyt ovat usein laajalle alueelle ulottuvia ja vaikutuksiltaan monitahoisia hankkeita, joilla tavoitellaan etua monille vesistön käyttömuodoille. Juuri tästä syystä, että vesistön säännöstelyt useimmiten ovat laaja-alaisia yhteishankkeita, on meidän vesilainsäädäntömme asettanut valtion suosituimmuusasemaan tällaisten säännöstelyhankkeiden toteuttamisessa. On katsottu, että valtiolla on paremmat mahdollisuudet kuin yksityisillä hyödynsaajilla nähdä hanke osana kokonaisuudesta, yhteensovittaa etupiirien vaatimuksia ja turvata kansalaisten oikeuksia.

Vesistön säännöstelyillä ei meillä Suomessa, lauhkean ilmaston maassa, jossa vettä virtaa vesistöissä kaikkina vuodenaikoina ja jossa tuhannet järvet jo luonnostaan säätelevät vedenjuoksua, ole samaa kohtalokasta merkitystä kuin maapallon kuivilla alueilla. Näillä alueilla veden varastointi, kun sitä on riittävästi, ja sen käyttö tarpeen vaatiessa, ovat luoneet elämisen mahdollisuudet sekä perustan hyvinvoinnille että kulttuurille. Kuitenkin myös meillä vesistön säännöstelyillä saavutetaan huomattavia taloudellisia hyötyjä, estetään muutoin syntyviä vahinkoja ja turvataan vesistön käyttömahdollisuuksia.

Luonto muokkaa vesistöjämme jatkuvasti, ihmisen toimet vesistö-alueilla muuttavat vesistöoloja ja yleinen kehitys toiveitamme ja arvostuksiamme. Tarve puuttua vesistöoloihin on jatkuva. Usein ei ole käytettävissäkään muuta keinoa kuin vesistön säännöstely.

2. Lainsäädännön vaikutus valtion tehtäviin säännöstelyhankkeissa

Valtion mukanaolo säännöstelyhankkeissa kuten edellä mainittiin johtuu paljolti lainsäädännön kehittymisestä. Eräitä hajanaisia säännöksiä vedenjuoksun säännöstelystä on lainsäädännössämme ollut jo 1600-luvulta lähtien. Erityisesti vuoriteollisuutta pidettiin niin tärkeänä, että sen eduksi sallittiin vesistön säännöstelykin. Valtaväylän vapaanapitäminen oli kuitenkin pitkään ylitsekäymätön periaate, mikä käytännössä esti vedenjuoksun säännöstelyn. Noin sata vuotta sitten, vuonna 1889 annettiin asetus, jonka mukaan maaherra voi antaa vedenpuutteen uhatessa luvan rakentaa valtaväylän poikki pato, joka kuitenkin oli poistettava ennen kevät-tulvaa. Tätä oikeuttaan maaherrat käyttivät kerkeästi. Kun vuosisatamme alussa säädettiin vuonna 1902 voimaantullut vesioikeuslaki, tämäkin säännöstelymahdollisuus poistettiin. Vesioikeuslain mukaan säännöstely oli mahdollista lähinnä vain rakentajan omalla vesi-alueella ja sellaisten rantojen sisällä, joita hän hallitsi.

Vuonna 1928 vesioikeuslakia uudistamaan asetettu ns. Hällforsin komitea kiinnitti ensi työkseen huomiota säännöstelymääräysten tarpeellisuuteen. Valtion virastojen ja talouselämän taholta oli asiasta tehty jo sitä ennen useita aloitteita. Kun kävi selväksi, että vesioikeuslain uudistaminen vie runsaasti aikaa ja kun 1930-luvun pulakausi pakotti valtion järjestämään erilaisia hätäaputoimia, joiden joukossa vesitalouden alaan kuuluvat työt olivat tärkeitä, päätettiin vesioikeuslakiin lisätä vesistön vedenjuoksun säännöstelyn salliva säännös. Tämä toteutui vuonna 1934 vesioikeuslain 1 luvun 5 §:ään tehdyllä muutoksella. Vesistön vedenjuoksun säännöstely sallittiin silloinkin vain kosken vesivoiman lisäämiseksi ja tasoittamiseksi. Kosken omistajalle ja vesivoiman käyt-

täjälle lupa voitiin myöntää vain tietyin ehdoin, mm. säännöstelystä ei saanut aiheutua sanottavaa vahinkoa kenellekään. Sen sijaan valtiolle annettiin oikeus toimittaa vedenjuoksun säännöstely, vaikka siitä aiheutui edellä mainittua sanottavaa vahinkoa, jos yrityksestä johtui kosken vesivoiman käyttämisessä hyöty, jonka arvo oli vähintään kaksi kertaa suurempi kuin haitan ja vahingon määrä. Vuoden 1934 muutos oli voimassa aina vuoteen 1962, jolloin nykyinen vesilaki monipuolisine säännöstelymääräyksineen astui voimaan.

Vaikka vesistön vedenjuoksun säännöstely voitiin toteuttaa vain vesivoiman lisäämiseksi ja tasoittamiseksi, oli hallitus vuoden 1934 lainmuutoksen perusteluissa todennut: "Kun säiliöiden suut vesistöjen säännöstelyjen yhteydessä yleensä syvennetään ja laajennetaan, joten säiliöt voidaan tyhjentää paremmin ja nopeammin kuin vesistöjen ollessa luonnollisessa tilassa, voidaan vesi estää säiliössä nousemasta maanviljelykselle vahingolliseen korkeuteen. Sen tähden voidaan tällaisten säiliöiden reunat yleensä viljellä alemmaksi kuin säännöstelemättömien vesistöjen, joilla on aina pelättävissä, että äkilliset, edeltä arvaamattomat tulvat nousevat viljelyksille". Tämä hallituksen esityksen perustelu oli vahvana ohjeena lähes kolmen vuosikymmenen ajan, silloin kun valtio oli säännöstelyhankkeiden toimeenpanijana. Vaikka vesistön vedenjuoksun säännöstely edellytti vesivoimalle tulevaa hyötyä, oli maatalouden edut otettava samalla huomioon.

Vuoden 1934 lainmuutos merkitsi käytännössä sitä, että kaikissa huomattavissa säännöstelyissä valtion tuli toimia hakijana. Aluksi valtiolla oli kaksi virastoa, jotka laativat säännöstelysuunnitelmia, nimittäin valtion vesivoimatoimikunnan, aikaisemmin koski-toimikunta, alainen vesistöjen säännöstelytoimisto, alkuaan Saimaan säännöstelytoimisto sekä tie- ja vesirakennushallitus. Vesistöjen säännöstelytoimisto laati suunnitelmia lähinnä valtion voimayhtiöiden tarpeisiin aluksi Saimaan vesistössä ja myöhemmin Oulujoen ja Kemijoen vesistöissä. Tie- ja vesirakennushallitus laati suunnitelmia muissa vesistöissä ja toimi hakijana lähinnä yksityisten

omistamille voimalaitoksille tulevan hyödyn perusteella. Antaessaan hakijanoikeuksia joko vesivoimatoimikunnalle tai tie- ja vesirakennushallitukselle valtioneuvosto usein antoi tarkat ohjeet siitä, mihin kullakin säännöstelyhankkeella oli pyrittävä.

Vesioikeuslain antamat edellytykset johtivat alaspäin säännöstelyyn eli erilaisiin järvenlaskuihin. Tähän vaikutti myös se, että maataloudelle aiheutettavaa hyötyä ei voinut ottaa huomioon maatalouden vahinkoa vähentävänä tekijänä. Vanajaveden ja Pyhäjärven sekä Lappa- ja Evijärven säännöstelyt ovat tästä esimerkkeinä. Myös Oulujärven säännöstelyssä tulvien poistolla oli keskeinen merkitys erityisesti vyöryrantojen takia. Luonnontilaisena Oulujärvellä oli vyöryviä rantoja 80 kilometrin matkalla, kun niitä nyt on enää 5 - 10 kilometrin matkalla. Valitettavasti vyöryrannoille saavutettu hyöty on unohtunut ja nykypolvi pitää jäljellä olevia vyörymiä säännöstelystä johtuvina.

Vaikka vesioikeuslain mukaan vain voimatalous oli otettava vesistön säännöstelystä saatavana hyötynä huomioon, säännöstelyhankkeet pyrittiin käytännössä laatimaan niin, että kaikki muutkin edut ja vesistön käyttömuodot otettiin huomioon. Uitto- ja vesiliikenne sekä eräissä tapauksissa vedenhankinta olivat jo alunperin mukana ja vähitellen kalastoon ja virkistystekijöihin kiinnitettiin suurta huomiota niiden merkityksen ja arvostuksen yleisesti kasvaessa.

Vesilain voimaantulo vuonna 1962 merkitsi suurta muutosta vesistön säännöstelyn osalta. Säännöstely voidaan nyt toimeenpanna mitä tarkoitusta varten tahansa ja hyötynä ottaa huomioon kaikki vedenjuoksun tai vedenkorkeuden muutoksen aiheuttamat edut niin alapuolisessa vesistössä kuin säännöstelyaltaassa. Valtio ei itse luvan saantiin nähden myöskään ole enää erityisasemassa. Vesilaki sisältää myös tarkat säännökset siitä miten on meneteltävä, kun hyötyä aiheutuu monelle. Kaikilla hyödynsaajilla on oikeus liittyä osakkaaksi säännöstely-yritykseen. Keskenään kilpailevista suunnitelmista voittaa se, joka on taloudellisesti ja yleiseltä kannalta edullisin. Vastoin tahtoaankin säännöstelystä hyötyä saava

voidaan velvoittaa osallistumaan hoito- ja kunnossapitokustannuksiin.

Valtio on kuitenkin säilyttänyt erikoisoikeutensa hakijana sikäli, että valtion ei tarvitse pyytää muita hyödynsaajia mukaan säännöstelyhankkeeseen, jonka se itse kustantaa. Valtio voi myös, jos se on tehnyt kustannuksellaan säännöstelyä varten tarvittavat työt ja rakennelmat, siirtää säännöstelyn hoidon ja kunnossapidon hyödynsaajista muodostettavalle yhtiölle. Toistaiseksi ei tällaisia siirtoja ole käytännössä toteutettu.

3. Valtion säännöstelyhankkeet

Kuten edellä mainittiin alkuaikoina valtion vesivoimatoimikunta sekä tie- ja vesirakennushallitus toimivat valtion puolesta säännöstelyhankkeiden toimeenpainjoina. Kun 1950-luvulla maataloushallituksen insinööriosasto ryhtyi toimeenpanemaan Pohjanmaan jokijärjestelyjä, myös maataloushallitus ryhtyi valtion puolesta hakemaan säännöstelylupia. Maataloushallitus oli hakijana mm. Pyhäjoen keskusjärven Pyhäjärven säännöstelyssä.

Vesihallituksen aloittaessa toimintansa vuonna 1970 sille siirrettiin tie- ja vesirakennushallituksen, maataloushallituksen ja valtion vesivoimatoimikunnan vastuulla olleet valmiit ja kesken-eräiset säännöstelyhankkeet. Vesihallinnon tehtäviin kirjattiin muiden ohella vesivoiman käytön edistäminen. Vesihallinnon muuttuessa 1.10.1986 vesi- ja ympäristöhallinnoksi poistettiin sen tehtävistä vesivoiman käytön edistämistehtävä. Vesi- ja ympäristöhallintoa koskevan lain mukaan virasto huolehtii kuitenkin edelleen valtiolle annettujen vesioikeudellisten lupapäätösten mukaisesti säännösteltyjen vesistöjen vedenkorkeuksien ja juoksutusten säätelystä ja hoitovelvoitteista sekä näiden tehtävien vaatimasta suunnittelusta.

Kaikkiaan Suomessa on toteutettu noin 200 kpl yli 1 km²:n suuruisen järven tai tekoaltaan säännöstelyhanketta. Näistä noin puolet pal-

velee ensisijaisesti voimatalouden tarpeita, neljännes tulvasuojelua ja neljännes vesihuoltoa. Toteutetuista säännöstelyhankkeista on tekojärviä noin 20 ja jokisuistojen edustalla merenlahdista padottuja makeavesialtaita kymmenkunta. Järviemme kokonaispinta-alasta säännösteltyjen luonnonjärvien osuus on noin kolmannes. Suurin osa säännöstelystä on suunniteltu vanhan vesioikeuslain aikana ja toteutettu erityisesti 1960-luvulla.

Vesi- ja ympäristöhallitus on valtion puolesta luvan haltijana yli seitsemässäkymmenessä säännöstelyhankkeessa. Säännösteltyjen järvien pinta-alan mukaan tarkasteltuna valtion hankkeiden osuus kaikista säännöstelyhankkeista on noin 65 %. Lähes kaikki suuret säännöstelyt sekä tekojärvet ovat valtion hankkeita.

Valtio on ollut luvan hakijana erityisesti silloin, kun hankkeella on ollut laajalle ulottuvia ja monitahoisia vaikutuksia. Oman ryhmänsä muodostaa Pohjanmaan järjestelyjen yhteydessä toteutetut säännöstelyt. Luonnonjärven puuttuessa on siellä rakennettu lähinnä toisarvoisessa käytössä oleville alueille tekojärviä, joihin osa tulvavesistä kerätään, jotta perkausten ja pengerrysten avulla kyetään vapauttamaan tulvavesiltä alapuolinen vesistönosa, arvokkaat rantapellot ja rakennetut alueet. Tekojärvissä säännöstely voidaan yleensä toteuttaa voimakkaammin kuin luonnonjärvissä. Pohjanmaan jokivesistöihin on rakennettu 20 tekojärveä.

Valtion tehtäviä ja roolia selkeytettiin oleellisesti syksyllä 1970, jolloin valtioneuvoston kanslia antoi asian oltua iltakoulussa käsiteltävänä, merkittävän päätöksen tulevia säännöstelyjä varten. Tuohon aikaan Lokan ja Porttipahdan säännöstelyaltaiden rakentaminen oli herättänyt voimistuvaa arvostelua, jonka johdosta valtioneuvosto oli pyytänyt asiasta useilta tahoilta lausuntoja. Porttipahdan altaan täyttö keskeytettiin lausuntojen käsitelyajaksi, noin kolmeksi viikoksi. Valtioneuvosto totesi, että altaan rakentaminen ei ollut aiheuttanut suurta haittaa tai vahinkoa ja salli altaan täyttämisen. Valtioneuvoston kanslia piti tässä yhteydessä välttämättömänä, että altaiden rakentamisesta

saatua kokemusta käytetään tulevaisuudessa hyväksi. Siinä tarkoituksessa valtion tulisi tukea uusien allashankkeiden toteuttamista vain sillä edellytyksellä, että ympäristönsuojelunäkökohdat ja altaan moninaiskäyttöä koskevat asiat sekä aikaisempien säännöstelyaltaiden osalta saadut kokemukset on yhteisvoimin ympäristönsuojelusta vastaavien viranomaisten kanssa otettu huomioon jo suunnitteluvaiheessa. Samassa yhteydessä esitettiin myös, että altaisiin liittyvät tutkimustulokset on julkaistava mahdollisimman laajalti sekä esittämällä niitä kansainvälisissä järjestöissä pyrittävä tietojen vaihtoon.

Edellä mainittua valtioneuvoston ohjetta on pyritty myös noudattamaan kaikissa niissä hankkeissa, joissa valtio sen jälkeen on ollut mukana. Esitetyillä periaatteilla aikoinaan suunniteltiin mm. Vuotoksen allasta.

Uusien säännöstelyjen toteuttaminen ja tekojärvien rakentaminen on viime vuosina ollut vähäistä. Tämä johtuu siitä, että vesivoimalaitosten rakentaminen on ollut vähäistä ja suurin osa tulvasuojelutöistä on toteutettu. Esim. 1980-luvulla on otettu käyttöön vain yksi säännöstelyhanke, jossa valtio on ollut hakijana.

4. Valtion säännöstelyjen käyttöötoiminta

Valtio on säännöstelyluvan haltijana viimekädessä vastuussa mm. lupaehtojen noudattamisesta kaikissa säännöstelyhankkeissaan. Luvasta johtuvat käytännön toimenpiteet sekä käyttö- ja hoitotehtävät samoin kuin korvausten ja muiden kustannusten maksaminen on kuitenkin noin kahdessa kolmasosassa näistä hankkeista siirretty pääasiallisen hyödyn saajalle erillisillä sopimuksilla, sitoumuksilla tai päätöksillä. Esimerkiksi Kemijoen vesistössä toteutetun valtion neljän säännöstely- ja tekojärvihankkeen hoidosta ja käytöstä on 10.4.1970 tehty sopimus valtion vesivoimatoimikunnan ja Kemijoki Oy:n välillä. Samana päivänä valtion vesivoimatoimikunta ja Oulujoki Oy ovat sopineet Oulujoen vesistön kuuden säännöstelyhankkeen hoidosta. Iijoen vesistössä toteutetun kahden valtion

säännöstelyhankkeen toteuttamisesta ja käytöstä sekä niistä aiheutuvista kustannuksista vastaa Pohjolan Voima Oy 24.6.1959 antamansa sitoumuksen ja valtioneuvoston 12.11.1959 tekemän päätöksen mukaisesti.

Vesi- ja ympäristöhallinnon käyttötoiminta kohdistuu ensi sijassa niihin säännöstelyihin, joita ei sopimuksella ole siirretty hyödynsaajalle. Näitä on noin kolmasosa valtion säännöstelyistä. Näissä säännöstelyissä vesi- ja ympäristöhallinto määrittää kulloinkin vallitsevan vesitilanteen perusteella juoksutukset siten, että juoksutukset ja veden korkeudet toteutuvat vesilain ja annettujen määräysten puitteissa. Juoksutusten määrittäminen edellyttää laajaa havaintotoimintaa, tulovesimääräennusteiden laatimista, palautuslaskelmien suorittamista sekä säännöstelyn toteutumisen ja vaikutusten seuranta.

Valtion säännöstelyhankkeita toteutettaessa kiinnitettiin alkuvuosina huomiota vain niihin yhteen tai kahteen eri käyttömuotoon, joille hyötyä oli suunnitelmissa tavoiteltu. Kun näille käyttömuodoille koituvat edut usein olivat ristiriidattomat sekä toisaalta kaikki hankkeesta aiheutuviksi arvioidut haitat ja vahingot korvattu, muodostuivat käyttötoimet melko suoraviivaisiksi. Viime vuosina on kuitenkin yhä useammalle säännöstelleylle järvelle ja altaalle vaadittu uusia tavoitteita aikaisempien lisäksi. Kun tämä usein on mahdollista lainvoimaisen luvan puitteissa, on käyttötoiminnan kehittäminen tullut tärkeäksi. Käyttötoiminnan kehittäminen edellyttää entistä enemmän reaaliaikaista tietoa vesistöstä, Ilmatieteenlaitoksen sääennusteista, vesistön käyttötarpeista ja toimenpiteiden vaikutuksista.

Kaiken tarvittavan tiedon käsittelyä varten käytetään hyödyksi viime vuosina voimakkaasti kehittynyttä tietotekniikkaa. Numeerisista tietokonemalleista käytetään useissa vesistöissä mm. valuntamalleja tulovirtaamien ennakoarvioiden tekemiseen, vesitasemalleja järvien säännöstelylaskelmien suorittamiseen ja hydraulisia malleja joen virtaaman etenemisen laskentaan. Reaaliaikaisten, hydrolo-

gisten ja meteorologisten havaintotietojen hankintaan on suunniteltu osa-automaattisia järjestelmiä, jotka toimivat havainnoitsijoiden, puhelinverkon ja muutamien automaattisten havaintoasemien avulla. Käyttötoiminnan edelleen kehittäminen edellyttää kuitenkin vielä nykyistä huomattavasti laajempaa vesistötietojen keruun automatisointia.

Uuden työvälineen tulevaisuudessa muodostavat tietotekniikkaan perustuvat vesistöjen reaaliaikaiset käyttömallit. Sääennusteiden tarkentuessa säännöstelymahdollisuuksia pystytään käyttämään aikaisempaa tarkemmin ja saavuttamaan siten säännöstelylle asetetut tavoitteet paremmin. Jokijäätutkimusprojekti, jota näillä päivillä selostetaan, antaa uutta tietoa säännöstelyjuoksutusten toteuttamisesta talvella.

Useissa säännöstely- ja vesistöhankeissa vesi- ja ympäristöhallitus on lupapäätöksillä velvoitettu selvittämään näiden hankkeiden vaikutuksia kalatalouteen ja veden laatuun sekä hoitamaan säännöstelyjä vesistöjä etupäässä kalanpoikasten istutuksin. Valtion kalanhoitovelvoitteiden perusteella viime vuonna istutettujen kalanpoikasten arvo oli runsaat neljä miljoonaa markkaa. Huomattavin yksittäinen kalanhoitotoimien kohde on Inari, jonne vesi- ja ympäristöhallitus kustantaa vuosittain yli miljoonan yksikesäisen siianpoikasen sekä yli 180 000 kaksi- tai kolmevuotisen taimenen ja nieriänpoikasen istuttamisen. Kun hoito- ja tarkkailuvelvoitteita on määrätty useiden kymmenien vesioikeudellisten lupapäätösten lupaehdoissa, on käytännön velvoitetehtävien hoidon sekä velvoitteiden täyttämisen seurannan helpottamiseksi valmis-teilla automaattiseen tietojenkäsittelyyn perustuva lupa- ja velvoiterekisteri.

Vesi- ja ympäristöhallinto on selvittänyt säännöstelyjen kalataloudellisia ja yleisiä luonnontaloudellisia vaikutuksia osittain vesioikeudellisten lupapäätösten edellyttäminä velvoitetutkimuksina, osittain tarveharkinnan perusteella tehtyinä selvityksinä.

Ongelmana säännöstelyjen ekologisten vaikutusten selvittämisessä on usein ollut menetelmien puutteellisuus. Vesihallituksessa käynnistettiin vuonna 1984 projekti "Säännöstelyjen vaikutusten ja muutostarpeiden selvittäminen", jonka tavoitteisiin kuuluu erityisesti säännöstelyjen vaikutusten kvantitatiivisten arviointimenetelmien kehittäminen. Ilman tällaisia menetelmiä säännöstelyjen muutostarpeita sekä muutoksista aiheutuvia hyötyjä ja kustannuksia ei voida rationaalisesti arvioida. Projektissa keskitytään lähinnä kalataloudellisten ja muiden luonnontaloudellisten vaikutusten arviointiin.

Keskeinen osa projektista on vesi- ja ympäristöhallituksen, Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen reaktorilaboratorion sekä Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen yhteistyönä toteutettava kehitystyö, jossa laaditaan systeemimallia säännöstelyjen kalataloudellisten vaikutusten kuvaamiseksi. Tätäkin tutkimusprojektia selostetaan näillä päivillä.

5. Säännöstelyhankkeiden merkitys tulvantorjunnassa

Vesi- ja ympäristöhallituksen yhtenä tehtävänä on huolehtia tulvantorjunnasta. Poikkeuksellisten tulvien aikana vesi- ja ympäristöhallinto sekä käyttää omia säännöstelyhankkeitaan että ohjaa myös muiden toteuttamien säännöstelyhankkeiden käyttöä torjuntatoimissa.

Säännöstelyhankkeistamme neljännes on varta vasten toteutettu tulvasuojelua ja tulvantorjuntaa varten. Suurimmassa osassa hankkeita tämä on ollut yhtenä tärkeimmistä tavoitteista. Aikaisemmin oli kysymys lähinnä maa- ja metsätaloutta haittaavien tulvien alentamisesta, mutta nykyisin tulvat aiheuttavat yleensä suurimmat vahingot teollisuuslaitoksille, rakennuksille ja rakenteille. Rakentaminen tulvaherkkien järvien ja jokien rannoilla on usein ulotettu liian alas ja toisaalta ylivirtaamat ovat ilmeisesti kasvaneet.

Jotta säännöstelyhankkeita voidaan käyttää mahdollisimman tehokkaasti tulvien aiheuttamien kokonaisvahinkojen pienentämiseen on

yhteistyössä voimayhtiöiden kanssa laadittu tulvantorjunnan toimintasuunnitelma Kokemäenjoen, Kymijoen, Kemijoen ja Iijoen vesistöille. Suunnitelmaa laaditaan parhaillaan Saimaan alueelle.

Vesilain mukaan vesi- ja ympäristöhallitus voi hakea vesioikeudelta lupaa poiketa vesistön säännöstelymääräyksistä tai luonnonmukaisesta juoksutuksesta kun jokin vaara, vahinko tms. uhkaa yleistä tai yksityistä etua. Tulvantorjunnan toimintasuunnitelmissa on poikkeuslupien hakemiseen etukäteen varauduttu. Mm. tulvavuonna 1981 haettiin 12 poikkeuslupaa. Parhaillaankin on meneillän Saimaan poikkeusjuoksutus. Saimaan vedenkorkeutta on mahdollista alentaa luonnonmukaista alemmaksi, koska Vuoksen suu on säännöstelyä varten perattu, vaikka säännöstelyä ei olekaan toteutettu.

6. Säännöstelyhankkeiden valvonta

Vesi- ja ympäristöhallinto toimii myös vesilain mukaisena valvontaviranomaisena. Säännöstelyä koskevissa lupapäätöksissä on hakijat yleensä velvoitettu toimittamaan tietoja vesi- ja ympäristöpiireille, jotka käytännössä huolehtivat valvonnasta. Kalataloudellisten velvoitteiden valvonta kuuluu pääasiassa kuitenkin maa- ja metsätalousministeriölle sekä kalastuspiireille.

Edellä selostetun laillisuusvalvonnan lisäksi vesi- ja ympäristöhallinnolle kuuluu myös yleisen edun valvonta toimialueensa osalta. Tämän kautta vesi- ja ympäristöhallinto pyrkii vaikuttamaan myös säännöstelymääräysten sisältöön.

7. Säännöstelyhankkeiden kehittäminen

Kuten edellä on mainittu suuri osa säännöstelyhankkeistamme on suunniteltu jo vesioikeuslain voimassa ollessa. Korvaussäännökset johtivat silloin yleensä alaspäin säännöstelyyn. Nykyisin ei näin tarvitsisi menetellä ja käytännössä pyritäänkin paremminkin nostamaan ainakin kesän aikaisia vedenkorkeuksia. Säännöstelyhankkeiden alkuperäisissä tavoitteissa on myös tapahtunut muutoksia ja

yleinen kehitys tuonut uusia käyttötarpeita vesistöille. Ympäristövaikutusten korostuminen lienee kuitenkin suurin syy olemassa oleviin säännöstelyhankkeiden muutospaineisiin. Muutospaineen muuttuminen muutostarpeeksi edellyttää kuitenkin monien tosiseikkojen selvittämistä.

Vaikka vesistön säännöstelyyn myönnetyt luvat ovat pysyviä, voidaan niitä tietenkin uudella lupapäätöksellä muuttaa. Luvanhaltija voi aina hakea muutosta ja muidenkin hakemuksesta voidaan tehdä muutoksia aiemmin annettuihin lupiin, joskin edunmenetykset tulee tällöin ottaa huomioon. Mikäli hankkeesta aiheutuu sellainen vahingollinen seuraus, jota lupaa myönnettäessä ei ole otettu huomioon tai mikäli olosuhteiden muuttumisen vuoksi lupaehtojen noudattaminen aiheuttaa haittaa, voi muutoksia lupaehtoihin saada haittaa kärsivien hakemuksesta korvauksetta, jollei muutos sanottavasti vähennä säännöstelystä saatavaa hyötyä.

Lupapäätöksen muuttaminen ei useinkaan ole tarpeen säännöstelykäytännön kehittämiseksi niin, että se paremmin vastaa nykyajan tarpeita. Usein lupaehdot ovat niin väljät, että niiden sallimissa rajoissa voidaan juoksutusta jossain määrin muuttaa ympäristövaikutusten kannalta edullisempaan suuntaan ja silti saavuttaa alkuperäiset tavoitteet.

Eräissä tapauksissa on lupapäätöstä kuitenkin muutettava. Tämä on osoittautunut käytännössä varsin hankalaksi. Esimerkkinä mainittakoon Lappa- ja Evijärven säännöstely. Tässä hankkeessa säännöstelymääräykset ovat niin yksityiskohtaisia, ettei juoksutuskäytännön muutos ole mahdollista lupapäätöstä muuttamatta. Muuttamistyötä on tehty kymmenkunta vuotta yhdessä alueen kuntien ja intressipiirien edustajien kanssa. Asia on nyt siirtynyt katselmustoimituksesta vesioikeuteen. Yhteisymmärrystä on ollut vaikea löytää. Kunnat, joiden alueella säännösteltävät järvet sijaitsevat vaativat vedenkorkeuksien vaihteluväliä pienennettäväksi, jopa huomattavasti luonnontilaista vähäisemmäksi. Alapuolisten kuntien alueella tämä tietää lisääntyviä tulvia. Vaikka säännöstelyn mahdollisuudet

ovat hyvin kaikkien osapuolten tiedossa, ei alkuperäisistä vaatimuksista haluta luopua. On myös ilmeistä, että sekä asutus että maa- ja metsätalous on tottunut ja sopeutunut vallitsevaan tilanteeseen.

On myös vaadittu, että säännöstelyluvut tulisi muuttaa määräaikaiksiksi. Tämä olisi varsin suuri muutos meidän vesioikeusjärjestelmäämme. Asian ydin ei ole tässä. Kulloinkin ajanmukaisten tarpeiden huomioon otto on mahdollista ilman lupien määräaikaaisuutta, mikäli päätökset muotoillaan oikein. Ennustusmenetelmien ja koko käyttötoiminnan kehittäminen on tärkeintä. Se on ehdoton edellytys pyrittäessä nykyistä parempiin tuloksiin olivatpa luvat pysyviä tai määräaikaaisia. On otettava huomioon, että aivan muutamaa poikkeusta lukuunottamatta meillä toteutetut säännöstelyhankkeet ovat lieviä. Valtaosa säännöstelyhankkeista on hyvin suunniteltu ja hyvin toteutettu. Hankkeita ei pidä arvostella säännöstelyrajojen mukaan, kuten usein asiaa tarkemmin tuntematta tehdään. Käytännössä vedenkorkeudet säännöstelyaltaissa varsin vähän poikkeavat luonnonomukaisista korkeuksista ja luonnollisesta rytmistä.

Suurin este säännöstelyhankkeiden kehittämiseen on ollut tietojen ja laitteiden puute sekä käytettävissä olevan henkilöstön vähäisyys. Kun näillä vesistötutkimuspäivillä on nähdäkseni positiivisessa mielessä tarkoitus paneutua säännöstelyhankkeiden kehittämiseen, on tätä tapahtumaa ilolla tervehdittävä. Vesi- ja ympäristöhallituksen puolesta toivotan menestystä nyt alkaville Oulun vesistötutkimuspäiville.

SÄÄNNÖSTELYN VAIKUTUS VESISTÖN HYDROLOGIAAN

J o h d a n t o

Taulukko 1 kertoo tarinan taustan. Suomen järivialasta on säännösteltyä $11\,900\text{ km}^2$ eli runsas kolmannes. Yli $2\,000\text{ km}^2$:n vesistöjen joukossa on kahdeksan sellaista, joissa säännöstellään yli puolta järivialasta. Viittä tämän kokorajan ylittävää vesistöä ei säännöstellä lainkaan.

Säännösteltyjen yli 1 km^2 :n laajuisten järvien lukumäärä on noin 220. Lisäksi on 29 alaltaan yli neliökilometrin tekojärveä.

Käyttömuotokohtaisesti säännöstelyt jakautuvat seuraavasti:

voimatalous	44 %
tulvasuojelu	10 %
voimat. + tulvas.	26 %
vedenhankinta	20 %

Eräissä säännöstelyissä on käyttömuotona lisäksi vesiliikenne.

Valtaosa säännöstelyistä alkoi 1950- ja 1960-luvuilla. Vuoden 1970 jälkeen alkaneita säännöstelyjä on vain 13. Vanhimmat säännöstelyt ovat jo 1920-luvulta.

V a i k u t u k s e t v i r t a a m i i n

Kuvassa 1 on esitetty Suomen alueelta purkautuneen vesimäärän keskimääräinen vuotuinen vaihtelu 1970-luvulla. Samassa kuvassa on tutkittu vastaavan suureen vaihtelua ajalla 'ennen säännöstelyä'. Tämä aika on vesistökohtaisesti valittu siltä säännöstelyä edeltävältä vuosikymmeneltä, jonka keskivirtaama oli lähinnä 1970-luvun keskivirtaamaa.

'Suomijoen' keskimääräinen kevättulvahuippu oli 1970-luvulla noin $600\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$ pienempi kuin ennen säännöstelyä. Talven alivirtaama oli noin $700\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$ suurempi. Syyskesän ja alkusyksyn virtaamat olivat 1970-luvulla hieman pienemmät kuin ennen säännöstelyä. Syksyn tulvahuippu oli entisen suuruinen, mutta se esiintyi myöhemmin. Vuoden jälkipuoliskolla virtaamat poikkesivat selvästi vähemmän kuin alkuvuodesta.

Ei voida suoraan päätellä, kuinka suuri osuus kuvan 1 hydrografien eroista johtuu säännöstelystä. Vesistöissä on tapahtunut myös muita valumaoloihin vaikuttavia muutoksia. Kymmenvuotiskausi on lisäksi lyhyehkö keskiarvoja laskettaessa. Yksittäinen suuri kevättulva tai lauhat talvet (kuten 1972-1973 ja 1974-1975) painavat vaa'assa.

Vesistökohtaiset virtaamanmuutokset ovat selvempiä vertailukohteita. Voidaan mm. tarkastella niiden kuukausien lukumäärää, jolloin virtaamanmuutos on vähintään tietyn suuruinen (taulukko 2).

Kaikissa yli 2 000 km²:n laajuisissa Pohjanmaan vesistöissä on virtaama muuttunut yli 50 prosentilla vähintään kolmena kuukautena. Kyse on alivirtaamien kasvusta, yleisimmin tammi-maaliskuussa. Oulujoen virtaama on muuttunut yli 50 prosentilla seitsemänä kuukautena, Kemijoen neljänä.

Kuvassa 2 on esitetty kuuden vesistön keskimääräiset vuosihydrografit ennen säännöstelyä ja 1970-luvulla. Kaikissa kuudessa vesistössä talvivirtaamat ovat lisääntyneet. Kevättulva on pienentynyt Kyrön-, Perho-, ja Siikajoella ja käytännössä hävinnyt Oulu- ja Paatsjoella. Kemijoen kevättulvan volyymi on pienentynyt, huippu pysynyt lähes ennallaan. Kesän alivirtaamat ovat kasvaneet Kyrönjoella ja Oulujoella, pienentyneet Perhonjoella.

Vesivoiman merkitys säätövoimana on lisääntynyt. Virtaaman nopeat vaihtelut ovatkin monille säännöstellyille vesistöille tyypillisiä. Vuorokausikeskiarvoista määritetyt virtaaman tunnusluvut eivät tällaisissa vesistöissä kuvaa virtaamaoloja tyydyttävästi.

V a i k u t u k s e t v e d e n k o r k e u k s i i n

Kuvassa 3 on esitetty Suomen järvien vesivaraston keskimääräinen vuotuinen vaihtelu 1970-luvulla sekä ajalla 'ennen säännöstelyä'. Tekojärvien vesivarasto on otettu mukaan.

Vuodenvaihteessa oli varastoituma 1970-luvulla 2.5 km³ suurempi kuin ennen säännöstelyä. Maaliskuun lopulla käyrät leikkaavat. Huhtikuun puolivälissä varastoituma oli 1970-luvulla yli 5 km³ pienempi kuin ennen säännöstelyä. Talviminimin ajankohta oli siirtynyt kuukaudella eteenpäin. Kevätmaksimit esiintyivät sitä vastoin samaan aikaan. Koko kevätkauden varastonlisäys oli ennen säännöstelyä 12 km³, 1970-luvulla yli 15 km³. Loppuvuoden ajan pysytteli varastoituma 1970-luvulla 3...4 km³ vertailujakson arvoja suurempana.

Eniten poikkeuttivat kuvan 3 käyriä toisistaan Lapin suuraltaat Lokka ja Porttipahta sekä Inari, Kemijärvi ja Oulujärvi. Kahden viimeksimainitun keskimääräisiä vedenkorkeusvaihteluita on tarkastettu kuvassa 4.

Kemijärven Kulmungin asteikolla oli kevättalven alivesi säännöstellyllä kaudella 3.5 m alempi kuin ennen säännöstelyä. Oulujärvellä vastaava ero oli 0.8 m. Vuoden jälkipuoliskon säännöstellyt vedenkorkeudet olivat molemmilla järvillä selvästi ylempät kuin aiemmat vedenkorkeudet.

Kemijärven vesitilavuus oli jakson 1971-1980 keskiylivedellä 1560 milj. m³ ja keskialivedellä 410 milj. m³. Vesitilavuus vaihteli siten vuoden aikana 3.8-kertaisesti. Lokan altaalla vastaava kerroin oli 1.6, Porttipahdan altaalla 2,3. Kiantajärvessä 1.5 ja Oulujärvessä 1.26.

V a i k u t u k s e t j ä ä o l o i h i n

Talvikuukausien runsaat juoksutukset säännöstellyistä järvistä hidastavat jääkannen syntyä alapuolisella jokiosuudella. Jos sulia alueita on runsaasti, tapahtuu kovalla pakkasella veden alijäähtymistä ja suppon muodostusta. Tämä on eräissä Suomen vesistöissä jokatalvinen ongelma.

Tyypillinen esimerkki on Iijoki. Sen latvoilla säännöstellään Kostonjärveä ja Irnijärveä. Molemmista juoksutetaan talvikuukausina noin 20 m³ s⁻¹ vettä, jonka lämpötila on tyypillisesti 0.5-1.0 °C. Jos ilman lämpötila on -30 °C, on lämpöhäviö vedenpinnasta puolipilvisellä, heikkotuulisella säällä noin 650 J s⁻¹ m⁻². Tällöin veden lämpötila laskee nollaan 2-4 km:n matkalla ja suppoa alkaa syntyä. Mikäli tuulee navakammin, tapahtuu alijäähtyminen jo alle kilometrin matkalla.

Suppon muodostuminen aiheuttaa vedenpinnan nousua. Tavallisesti nousun suuruus on 0.5-1.0 m, mutta pahoissa tilanteissa on havaittu selvästi suurempiakin nousuja. Lisäksi runsas jäänmuodostus heikentää uoman vedenjohtokykyä kevättulvan aikana.

Jos tekoaltaan tai säännöstellyn järven alapuolinen jokiosuus on loiva, syntyy siihen yleensä jääkansi eikä suppohaittoja ole. Kuitenkin jää voi pysyä niin ohuena, että esim. entisiä ylityspaikkoja ei voida turvallisesti käyttää.

Lyhytaikaissäännöstely voi myös aiheuttaa jääpeitteen rikkoutumisen ja johtaa kulkuhaittoihin. Tällainen on tilanne mm. Pohjanmaan suurimman tekojärven, Siikajoen Uljuan, alapuolisella jokiosuudella. Ensimmäiseen koskijaksoon saakka pitävät veden lämpövarasto ja vedenpinnan vaihtelut jääkannen niin heikkona ja rikkonaisena, ettei jäällä yleensä voi liikkua turvallisesti.

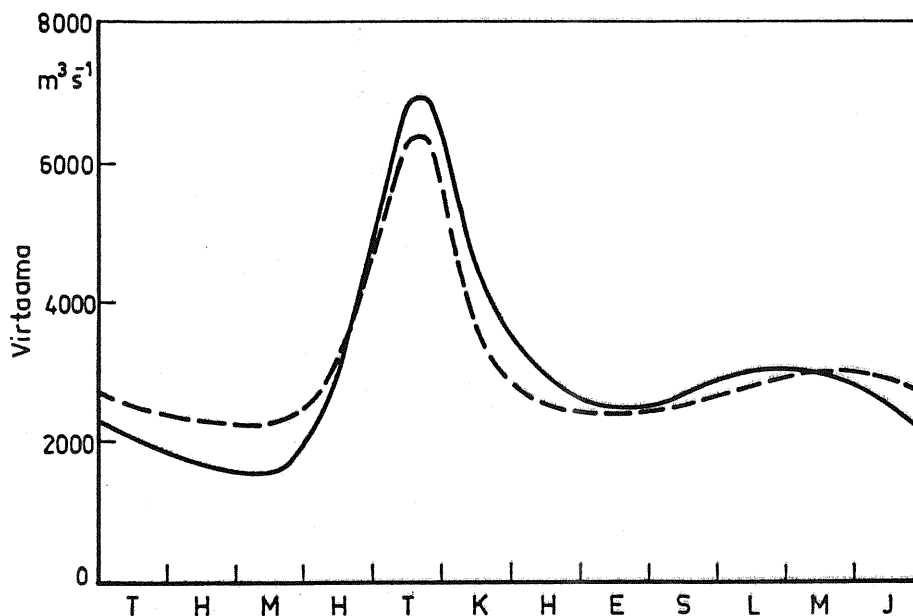
Jääpeitteen painuminen kiinni pohjaan laajoilla alueilla on eräs talviajan säännöstelyn aiheuttama ongelma. Esim. Irni- ja Kostonjärvillä jää ulottui pohjaan ennen säännöstelyä yhteensä 18 km²:n alalla, säännöstelyn jälkeen 73 km²:n alalla. Matalien kynnysten rajoittamat lahdet jäävät tällöin myös helposti eristykseen.

V a i k u t u k s e t v e s i s t ö n l ä m p ö - o l o i h i n

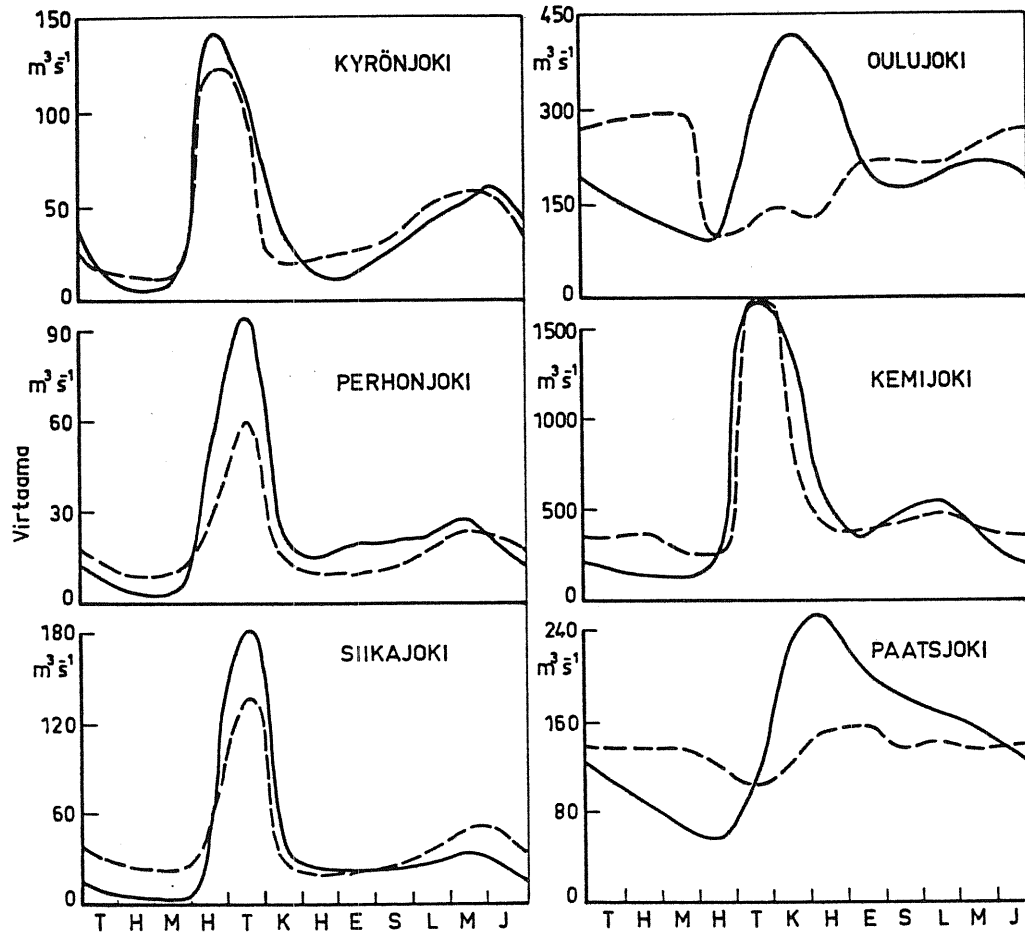
Tekojärvi tai säännöstelty järvi on paitsi vesivarasto myös lämpövarasto. Jääkannen alle jäävän veden lämpö-energialla voi olla merkittävä vaikutus alapuoliseen vesistön lämpöoloihin koko talvikauden ajan. Välillisesti tämä lämpövarasto vaikuttaa myös alapuolisen vesistön jääoloihin.

Koska sekä tekojärvet että luonnonjärvet ovat Suomessa matalia, jäähtyy niiden vesi melko kylmäksi ennen jääpeitteen muodostumista. Toisaalta pienestä keskisyvyydestä on se seuraus, että pohjasedimentteihin varastoitunut lämpömäärä on vesitilavuuteen verrattuna suurehko. Koska jääkansi estää tehokkaasti lämpöhäviöt ilmakehään, alkaa vesi hitaasti lämmetä pian jääkannen muodustumisen jälkeen. Lämpenemisnopeus ei kuitenkaan talvikukausina ole yleensä suurempi kuin 0.5-0.2 °C kuu-kautta kohti.

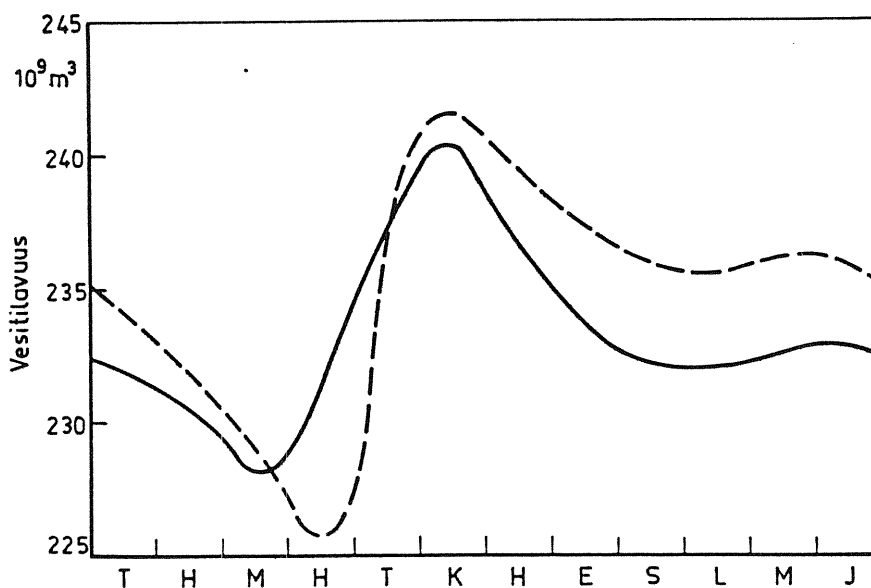
Koska voimakkaasti säännösteltyihin järviin kertyy ke-väällä runsaasti kylmiä sulamisvesiä, on niiden vesimassan keskilämpötila jäänlähtöä seuraavina viikkoina alhaisempi kuin säännöstelemättömien järvien. Ero kuitenkin tasoittuu pian, eikä ilmene esim. kesän maksimilämpötiloissa enää lainkaan.



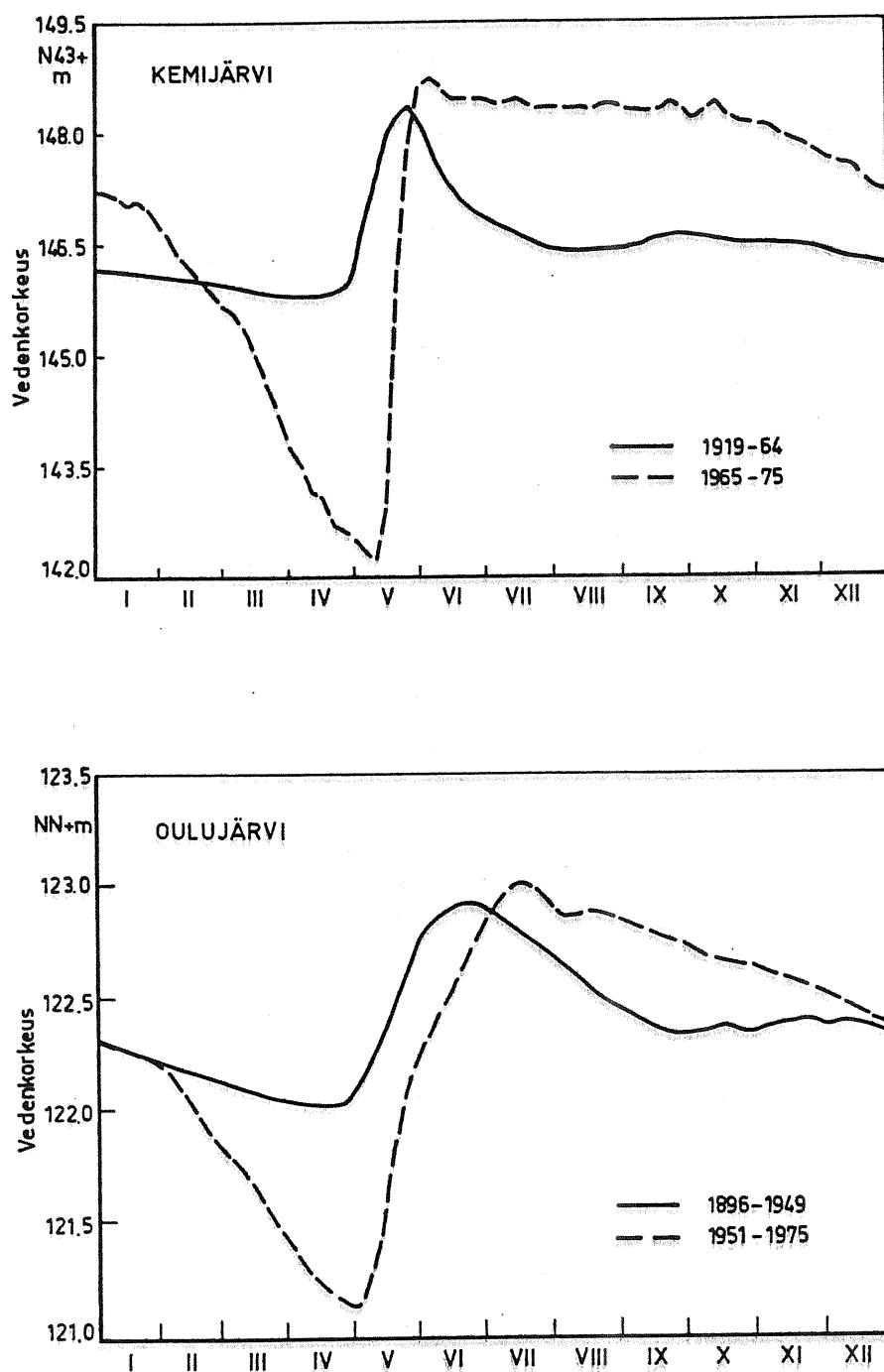
Kuva 1. Suomen alueelta purkautuneen virtaaman keskimääräinen vuotuinen vaihtelu 1970-luvulla (katkoviiva) sekä 'ennen säännöstelyä' (yhtenäinen viiva).



Kuva 2. Kuuden vesistön keskimääräiset vuosihydrografit 1970-luvulla (katkoviiva) sekä 'ennen säännöstelyä' (yhtenäinen viiva).



Kuva 3. Suomen järvien (ja tekojärvien) vesivara-
ston keskimääräinen vuotuinen vaihtelu 1970-
luvulla (katkoviiva) sekä 'ennen säännöste-
lyä' (yhtenäinen viiva).



Kuva 4. Vedenkorkeuden keskimääräinen vuotuinen vaihtelu Kemijärven Kulmungin ja Oulujärven Vaalan asteikoilla.

Taulukko 1. Suomen säännöstellyt järvet ($F > 1 \text{ km}^2$) vesistöalueittain. Yli 2000 km^2 :n vesistö-alueet on lueteltu erikseen, pienemmät on yhdistetty.

Vesistö	Järviala (km^2)	Säännöstellyt järvet		
		kpl	ala (km^2)	osuus (%)
1 Jänisjoki	120	3	20	17
4 Vuoksi	11160	30	3540	32
14 Kymijoki	7110	26	2390	34
23 Karjaanjoki	240	12	156	65
35 Kokemäenjoki	3170	22	860	27
36 Karvianjoki	190	4	81	43
42 Kyrönjoki	50	5	21	42
44 Lapuanjoki	120	14	84	70
47 Ähtävänjoki	210	3	181	62
49 Perhonjoki	70	5	50	71
53 Kalajoki	80	10	39	49
54 Pyhäjoki	200	4	134	67
57 Siikajoki	70	4	63	90
59 Oulujoki	2610	27	1530	59
60 Kiiminkijoki	130	0	0	0
61 Iijoki	820	10	162	20
64 Simojoki	200	0	0	0
65 Kemijoki	1980	20	890	45
67 Tornionjoki	660	2	60	9
68 Tenojoki	130	0	0	0
69 Näättämonjoki	230	0	0	0
71 Paatsjoki	1780	4	1150	65
73 Koutajoki	590	1	2	0
alle 2000 km^2 :n vesistöt	1580	41	530	34
Yhteensä	33500	247	11940	36

Taulukko 2. Niiden kuukausien lukumäärä, jolloin keskivirtaama 1970-luvulla poikkesi tietyllä määrällä vastaavan kuukauden keskivirtaamasta ennen säännöstelyä.

Vesistö, hav.paikka	Kuukausien lukumäärä, kun poikkeama on ...				%
	10...20	20...30	30...50	50...100	
Kymijoki, Pernoo	4	4			
Karjaanjoki, Peltokoski	3	4	2	1	
Kokemäenjoki, Harjavalta	4	4	1		
Kyrönjoki, Lansorsund	2	3	1	3	2
Lapuanjoki, Keppo	2	3	2	2	1
Ähtävänjoki, Hanhikoski		3	5	3	
Perhonjoki, Pelon silta	2	2	5	1	2
Kalajoki, Niskakoski	1	2	3	1	2
Pyhäjoki, Pyhäkoski	2	2	3	2	1
Siikajoki, Länkelä		2	2		4
Oulujoki, Jylhämä	3	2		5	2
Iijoki, Raasakka	3	3	2	3	
Kemijoki, Isohaara	2	1	1	3	1
Paatsjoki, Kaitakoski	2	3	3	1	1

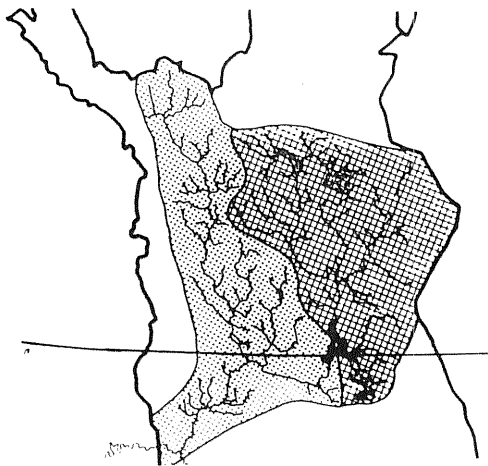
Marjaleena Nenonen

VOIMATALOUDEN VAIKUTUKSET KEMI - JÄRVESSÄ: KEMIJÄRVEN TILA JA KALATALOUS - PROJEKTI

1. JOHDANTO

Kemijärvi on Kemijoen vesistön keskeisin luonnonjärvi, josta viime vuonna valmistui eri tuotantotasoihin kohdistunut perusselvitys. Tämän Kemijärven biologis-kalataloudellisen tutkimuksen työnimellä tunnetun projektin taustalta löytyy paitsi usealla taholla tiedostettu tarve perustietojen hankintaan, käytännössäkin oivallisesti toiminut tutkimusyhteistyö siihen osallistuneiden kesken. Mukana ovat olleet Lapin vesi- ja ympäristöpiiri, RKTL kalantutkimusosasto, Lapin läänin maatalouskeskus ja Kemijoen vesiensuojeluyhdistys ry. Osittain yhteistyötä on tehty VTT:n säännösteltyjä järviä tutkivan projektin kanssa.

Tutkimuksen tarkoituksena oli perustiedoston kerääminen Kemijärven eri tuotantotasosta ja niihin vaikuttavista tekijöistä, samoin synteesin tekeminen Kemijärven tämän hetkisestä tilasta. Tila-analyysiin perustuen tuli olla mahdollista suunnitella kalaston hoitotoimia ja kehittää kalastusta. Käytännössä tutkimus jakaantui kolmeen toisiaan tukevaan lohkoon. Limnologinen osatutkimus (Kinnunen 1986, 1987) ja yleistilasta tietoa antavat plankton- (Ronkainen 1987) ja profundaalin pohjaeläinselvitykset (Tikkanen 1987) ovat ensimmäinen. Toisen kokonaisuuden muodostavat rantavyöhykkeen biologiset tutkimukset: litoraalin kasvisto ja kasvillisuus (Hellsten ja Joronen 1986), pohjaeläinyhteisöt (Tikkanen 1987) ja kalanpoikasten esiintyminen rannoilla (Huusko ja Karttunen 1987). Kalataloudellinen osatutkimus on itsessään laaja kokonaisuus, jossa Kemijärveä on tarkasteltu kalaston ja kalastuksen näkökulmasta (Heikinheimo-Schmid 1987, Heikinheimo-Schmid ja Huusko 1987a-b, Heikinheimo-Schmid, Nenonen, Liekonen ja Huusko 1987, Huusko 1987, Nenonen 1987b, Partanen 1987, Tikkanen ja Hellsten 1987). Tutkimuksen loppuraportissa (Nenonen 1987a) on esitetty keskeisimmät tutkimuksen tulokset sekä tutkimuksen johtoryhmän synteesi ja suositukset jatkotoimenpiteiksi.



Kuva 1: Kemijärven sijainti

sietokykyyn, rantavyöhykkeeseen sekä kalastoon ja kalastukseen.

Tutkimusaiheitten suunnittelussa ja tulosten analysoinnissa voimatalouden, Kemijärven säännöstelyn ja yläpuolisten Lokan ja Porttipahdan tekoaltaiden, vaikutusten pohtiminen on ollut keskeistä, sillä ne ovat kiistämättä ensimmäisellä sijalla Kemijärven luonnontilaa muuttaneita tekijöitä listattaessa.

Vesistön säännöstely on vaikuttanut Kemijärven veden määrään, laatuun ja lämpötilaan, kuormitukseen ja sen

2. HYDROLOGISIA TIETOJA KEMIJÄRVESTÄ

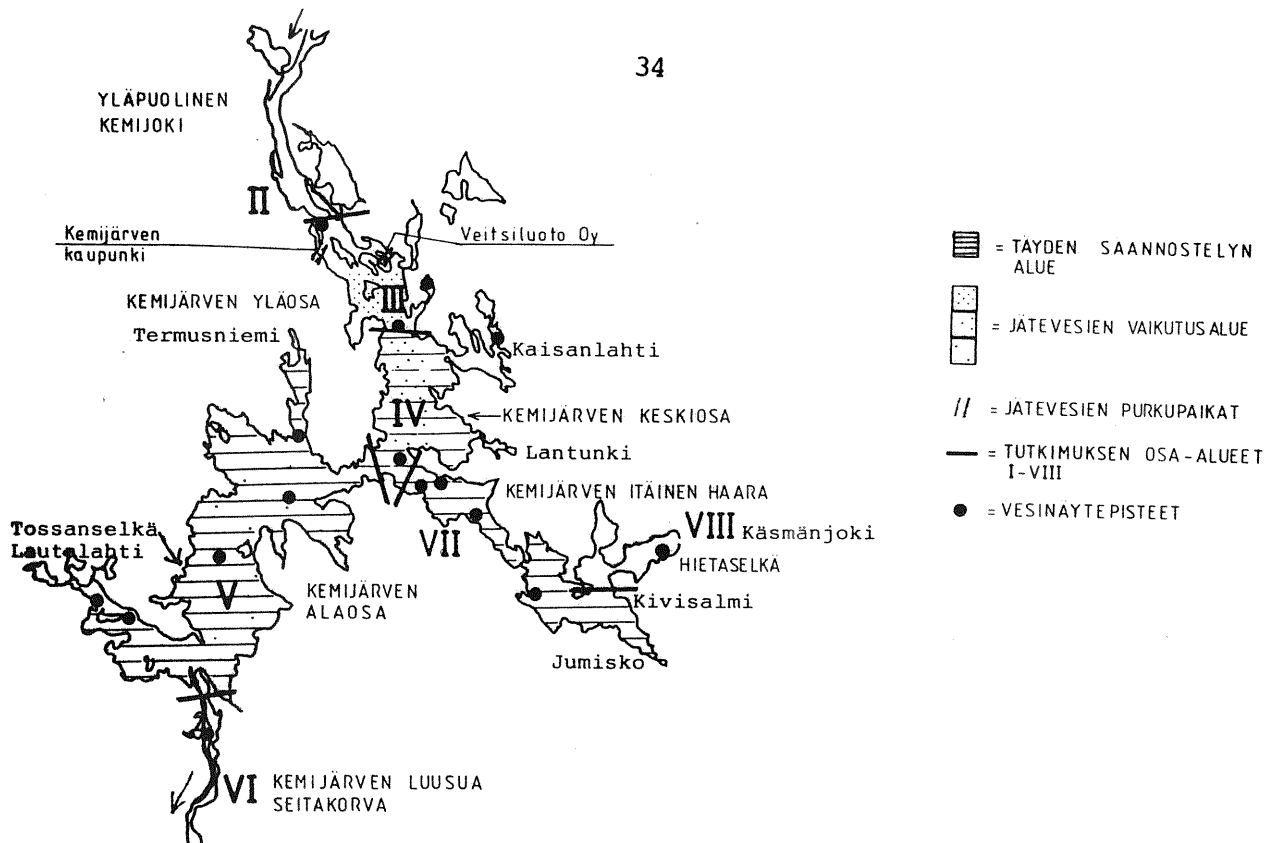
Kemijärven valuma-alue on $27\,285\text{ km}^2$, mikä edustaa noin 53 % koko vesistöalueen pinta-alasta (kuva 1). Keskimääräinen Kemijärven kautta virtaavan veden määrä on vaihdellut $248 - 349\text{ m}^3/\text{s}$ (vuosikeskiarvot 1980 - 1986). Järvisyys on tekoaltaat mukaanlukien 10,2 %. Ylivoimaisesti suurin osa Kemijärven tulevista vedestä on peräisin pohjoisesta Kitisen ja Lui-ron vesistöalueilta (n.44%) ja Kemihaaran vesistöalueelta (n.35 %). Nämä pohjoisesta Kemijokena tulevat vedet muodostavat järven päävirtaaman, joka kulkee läntisen runko-osan kautta luusuaan. Itäiseen haaraan tulevien vesien osuus on huomattavasti vähäisempi (n.10 %). Sadannasta lähes puolet tulee lumena. Järvi jäätyy yleensä marraskuun puoleen väliin mennessä ja jääpeite kestää 200-210 päivää (Vesihallitus 1980).

Kemijärven pinta-ala on kesällä säännöstelyn ylärajalla 285 km^2 . Järviallas on suhteellisen matala. Suurimmat syvänteet ovat noin 20 m, mutta yli puolet pinta-alasta on 0-7 m syvyisiä vesialueita (Kemijoki Oy:n tilastot). Luonnontilassa järven pinnan korkeuksien vaihtelut kuuluivat maan suurimpiin: keskiyli-veden ja keskialiveden erotus oli noin kolme metriä (Vesihallitus 1980). Järven yläosassa vaihtelu on edelleenkin saman suuruinen, pääosassa allasta täyden säännöstelyn alueella seitsemän metriä.

Kemijärven koko sen läpi virtaaviin vesimääriin nähden on suhteellisen pieni. Tämä pienentää viipymää ja näkyy mm. kevättulvan nopeana nousuna.

3. KEMIJÄRVI JA VESISTÖN VOIMATALOUDELLINEN KÄYTTÖ

Kemijoen vesistön voimataloudellinen hyödyntäminen alkoi toisen maailmansodan jälkeen, laajemmassa mitakaavassa 1950-luvulla erityisen sitä koskevan lain



POHJAPATOJEN LUVANMUKAISET
KORKEUDET N₄₃ +

Termusniemi 145.75 m
Kaisanlahti 145.50 m
Lantunki 145.00 m
Lautalahti 145.75 m

Kivisalmi 144.00 m
(luonnonkynnys)

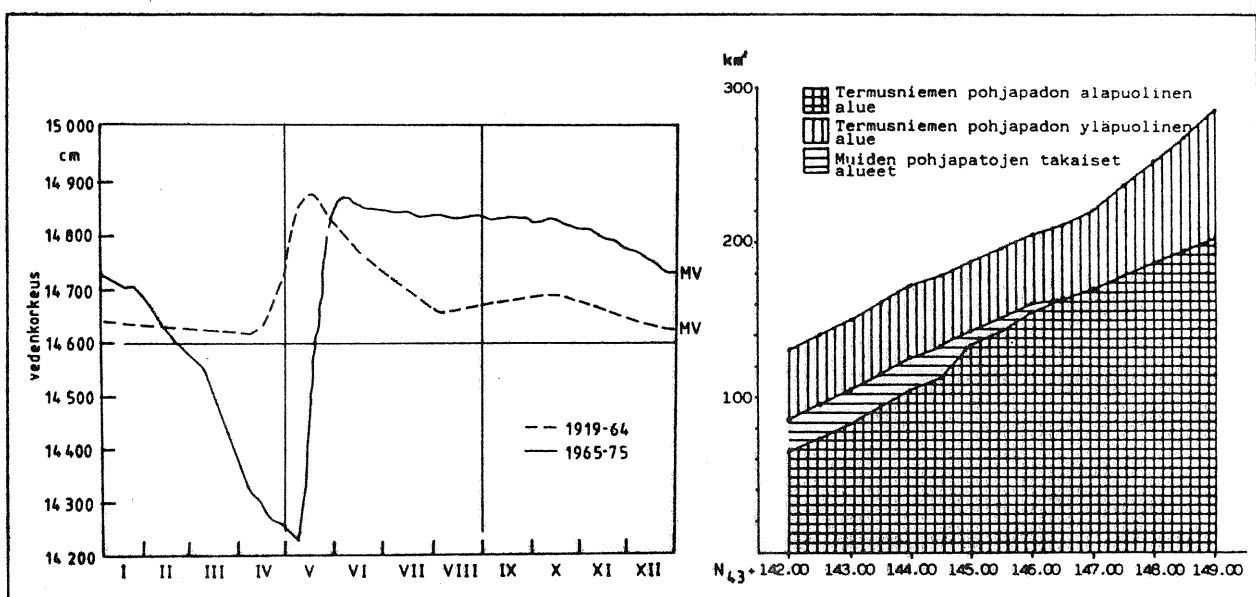
KEMIJÄRVEN SÄÄNNÖSTELYRAJAT N₄₃

Yläraja kesällä 149.00 m
Alaraja kesällä 148.35 m

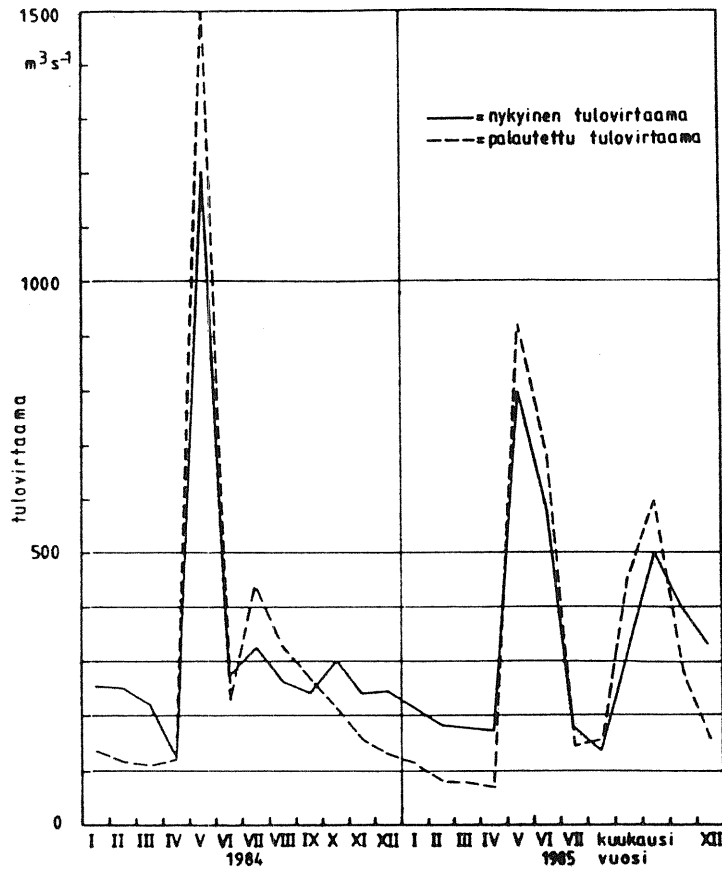
Kemijärven yläosassa
alaraja talvella 145.75 m

Täyden säännöstelyn
alaraja talvella 142.00 m

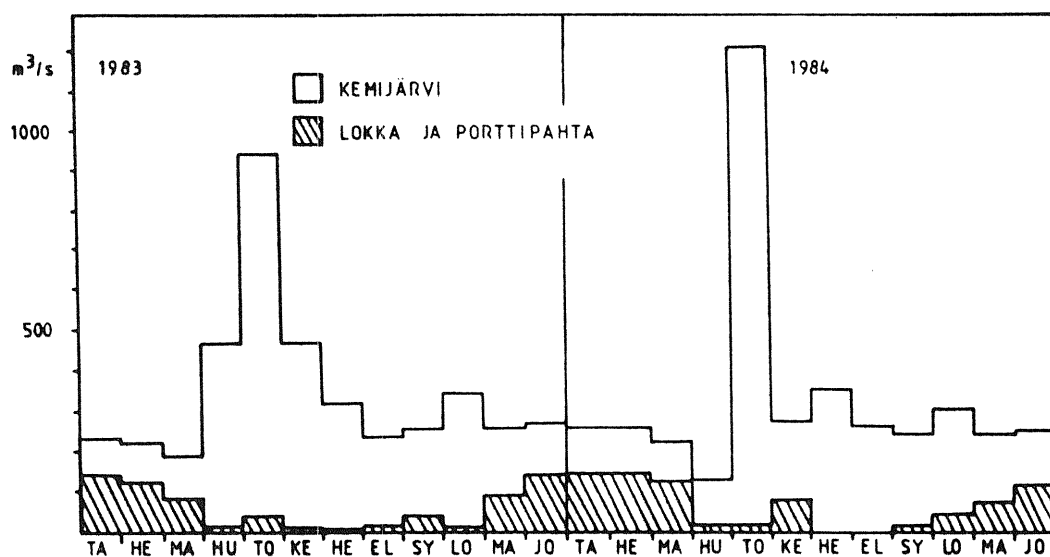
Kuva 2: Kemijärven säännöstely ja jätevedet



Kuva 3: Kemijärven keskimääräisiä vedenkorkeuksia luonnontilassa ja säännösteltynä Reunan (1979) mukaan ja järven eri osien pinta-aloja eri veden korkeuksilla.



Kuva 4: Kemijärven nykyinen ja palautettu tulovirtaama vuosina 1984–1985. Palautuslaskelmissa on oletettu, että Lokan ja Porttipahdan tekoaltaita ei ole olemassa, mutta Suolijärvet ovat säännösteltyjä (Kemijoki Oy:n laskelma).



Kuva 5: Kemijärven sekä Lokan ja Porttipahdan tekoaltaiden keskimääräiset kuukausittaiset lähtövirtaamat vuosina 1983 ja 1984 (Salon 1985 mukaan).

turvin. Vähäjärvisen jokivesistön luonnetta on muokattu tarkoitukseen paremmin sopivaksi luonnonjärviä säännöstelemällä ja tekoaltaita rakentamalla motiivina voimalaitosten koneiden kautta kulkevien vesimäärien lisääminen talviaikana. Kemijärven säännöstelyä varten valmistui vuonna 1963 järven luusuaan Seitakorvan voimalaitos. Muutamaa vuotta myöhemmin Luiron ja Kitisen latvoille valmistuivat Lokan (1967) ja Porttipahdan (1970) tekoaltaat. Kemijärven kannalta vähemmän merkitystä on Jumiskonjoen vesistön Suolijärvien säännöstelyllä (1954).

3.1 Kemijärven säännöstely

Kemijärven säännöstelyn yläraja on yli kaksi metriä luonnontilaista kesäveden keskimääräistä korkeutta ylempänä. Talvella tapahtuva veden lasku seitsemällä metrillä koskee pääosaa järvestä (kuvat 2 ja 3). Järven yläosassa Termusniemen pohjapadon yläpuolella säännöstelyrajojen väli on runsaat kolme metriä. Kolmessa lahdessa talvinen veden pinnan aleneminen säännöstelyn alarajalle on estetty pohjapadoilla. Kesäaikana veden pinnan vaihtelut ovat vähäisiä.

Kemijärven säännöstely on suurin luonnonjärvessä toteutettu säännöstely Suomessa. Järven kokonaispinta-ala pienenee talvella alle puoleen säännöstelyn alarajalla (kuva 3) ja täyden säännöstelyn piirissä oleva alue kapenee paikoin jokimaiseksi.

Veden pinnan lasku tapahtuu suhteellisen tasaisesti marraskuun loppupuolelta huhti-toukokuulle saakka. Säännöstelyvyöhykkeen ylimmät osat jäävät noin neljäksi kuukaudeksi ilman vesipeitettä ja ovat siten alttiina jäätymiselle. Matalikoille syntyy myös muusta järvestä eristyneitä alueita. Kevättulvan noustessa järvi täyttyy yleensä toukokuun loppuun mennessä.

3.2 Yläpuoliset tekoaltaat

Kemijärven tulovirtaamien jaksottumisessa on tapahtunut muutos Lokan ja Porttipahdan käyttöön oton jälkeen: tulvien osuus on pienentynyt ja talviaikaiset vesimäärät ovat lisääntyneet (kuva 4). Altaat voivat tasoittaa myös kuivien ja sateisten vuosien eroja, sillä ne toimivat ylivuotisina veden varastoaltaina.

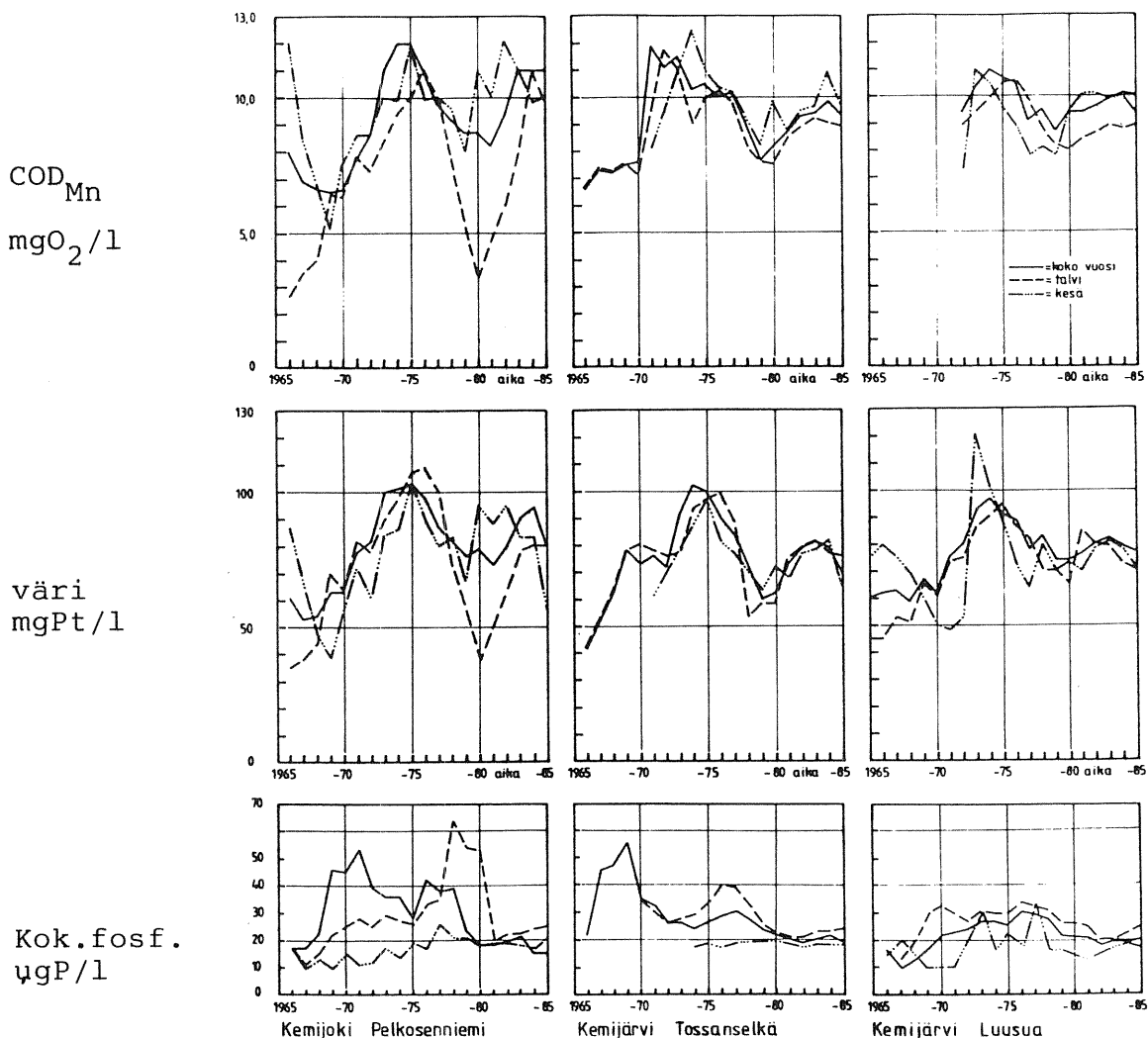
Lokasta ja Porttipahdasta juoksutettavan vedellä on huomattava vaikutus Kemijärveen erityisesti talven aikana, sillä niiden osuus voi nousta noin puoleen Kemijärven lähtövirtaamasta (kuva 5).

4. VEDEN LAADUN KEHITYS

Kemijärven hydrologinen jako päävirtauksen perusteella läntiseen runko-osaan ja itäiseen haaraan näkyy

selkeästi myös veden laadussa. Runko-osassa sille ominainen voimakas läpivirtaus riittää usein estämään lämpötilakerrostuneisuuden syntymisen veden laadun kannalta kriittisenä kautena lopputalvella. Tästä syystä happitilanne säilyy hyvänä, vaikka järven yläosaan johdetaan sellutehtaan jätevedet (70 000 m³/d, BOD₇ 6,4 t/d, P 0,05 t/d) ja kuormitus on muutenkin luonnontilasta lisääntynyt. Päävirtaus ei sensijaan vaikuta järven itäiseen haaraan, jossa kerrostuneisuuden syntyminen on todennäköistä lopputalvella ja loppukesällä. Itäiseen haaraan ei tule merkittävää jätevesikuormitusta.

Kemijärven veden laadussa tapahtuneet suurimmat muutoksen ajoittuvat 1960-luvun alkupuolelle, jolloin sellutehdas ja järven säännöstely tulivat kuvaan mukaan, sekä 1970-luvun puoliväliin, jolloin Lokan ja Porttipahdan tekoaltaat olivat nuoria ja niiden



Kuva 6: Kemijoen Pelkosenniemen (Kemijärven yläpuolella), Kemijärven Tossanselän ja Luusuan havaintopaikkojen kemiallisen hapenkulutuksen, veden värin ja kokonaisfosforin kolmen vuoden liukuvat keskiarvot talviaikaisista (---), kesäaikaisista (-...-) ja koko vuoden (—) aineistoista laskettuna.

veden laatu huonoimmillaan. Tekoaltaiden juoksutusten aiheuttamat talviajan kohonneet veden värin, kemiallisen hapen kulutuksen ja kokonaisfosforin arvot alapuolisessa vesistössä näkyvät selvästi vedenlaatuaineistoista (kuva 6). Toisaalta tekoaltaiden juoksutukset ehkäisivät happipitoisuuksien merkittävän laskun Kemijärven runko-osassa. Nykyiset talviaikaiset eloperäisten aineiden laatua ja määrää kuvaavien muuttujien arvot ovat edelleenkin luonnontilaisia arvoja korkeammat, kesäaikaiset samaa suuruusluokkaa tai hieman pienemmät.

Kemijärveen tulevassa kokonaisainekuormassa ei ole havaittavissa muutosta tekoaltaiden rakentamisen jälkeen. Osa kesäaikaisesta ainekuormasta on siirtynyt talvikaudelle kevättulvan, kesän ja syksyn aikana varastoidun veden myötä.

Tuotannollisesti Kemijärveä voidaan luonnehtia lievästi reheväksi. Siinä suhteessa ei ole tapahtunut selvää muutosta luonnontilasta. Myöskään järven eri osien välillä erot eivät ole suuria.

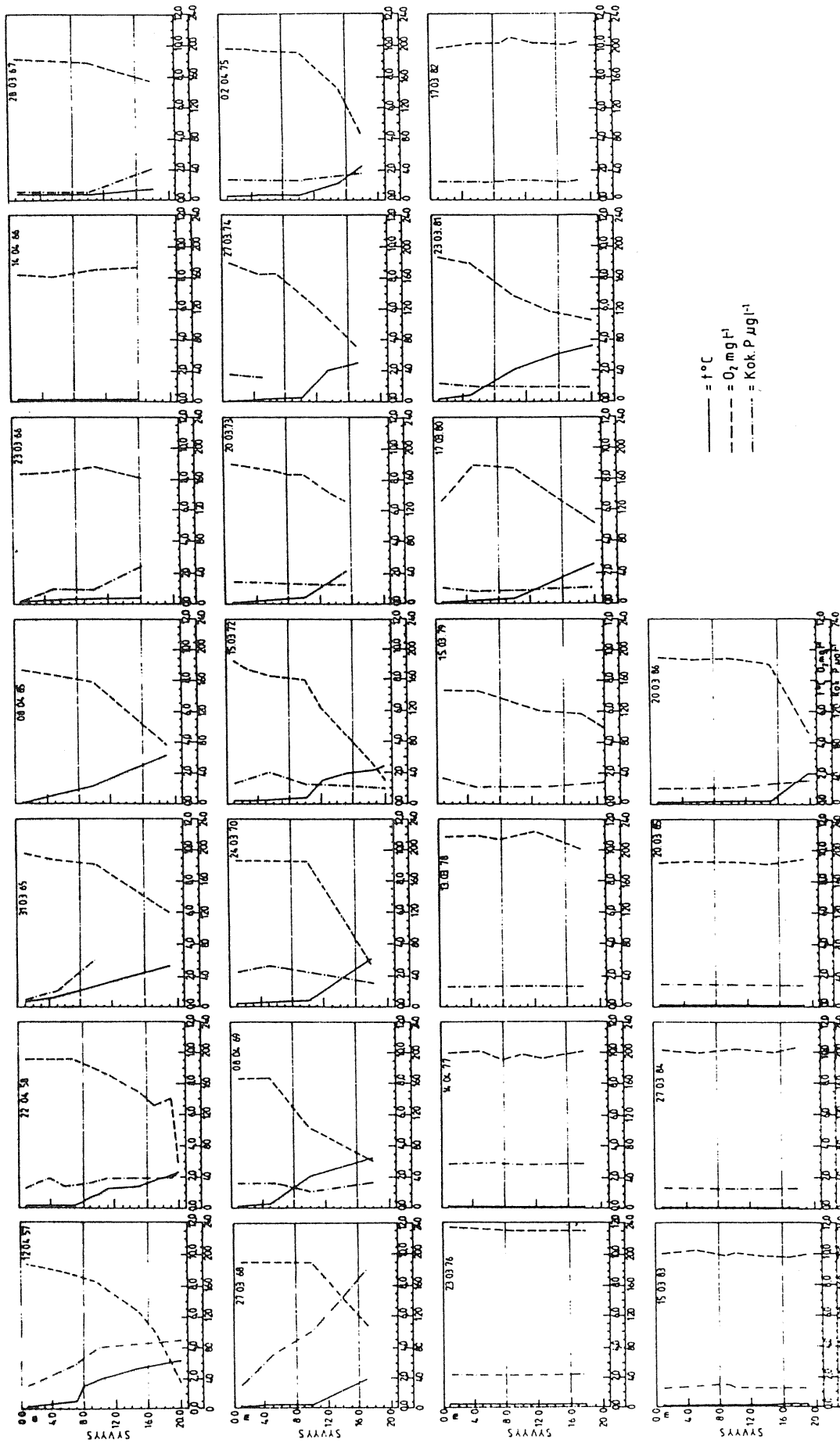
Järven yläosan, sellutehtaan jätevesien purkuputken läheisiä alueita lukuunottamatta veden laatua voidaan pitää niin hyvänä, että se ei heikennä kalaston lisääntymismahdollisuuksia eikä toimeentuloa. Sensijaan säännöstelyn aiheuttama kylmyyden lisääntyminen runko-osassa talvikaudella ja talven aikana jäähtyneen rantavyöhykkeen hidas lämpiäminen voivat vaikuttaa kalanpoikasten elinmahdollisuuksiin.

Kemijärven yläosa Termusniemen pohjapadon yläpuolella on käytännöllisesti katsoen termisesti kerrostumaton. Tilanne oli samanlainen myös luonnontilan aikana. Muissa osissa Kemijärveä lämpötilakerrostuneisuutta esiintyy talvi- ja kesäkausien loppupuolella, mutta sen vahvuus ja vaikutukset pohjan happitilanteeseen ovat suuresti riippuvaisia säännöstelyn toteuttamisesta ja tekoaltaiden juoksutusten määrästä. Tästä esimerkkinä Tossanselkä (kuva 7) Kemijärven alaosa-

sa:

- Ennen säännöstelyn aloittamista Tossanselkä kerrostui talvella, jolloin pohjan läheisissä kerroksissa esiintyi huomattavaa hapen vajausta (Sormunen 1964). Kesäolosuhteissa kerrostuminen oli harvinaisempaa.
- Säännöstelyn aloittamisen jälkeen lämpötilakerrostuneisuutta on esiintynyt, mutta harvemmin ja se on myös murtunut helpommin.
- Kerrostuneisuutta ei ole syntynyt, mikäli tekoaltaiden juoksutus on ollut talvella $100 \text{ m}^3/\text{s}$ tai sitä suurempi.
- Milloin kerrostumista ei ole tapahtunut, happitilanne on säilynyt hyvänä pohjaan saakka (sekoittumistilavuus, lämpötila).

Myös itäisessä haarassa pohjan happitilanne on yleisesti ottaen parantunut virtaamien lisääntyttyä säännöstelyn aikana. Pohjapatojen takaisten vesialueiden



Kuva 7: Kemijärven Tossanselän syvänteen 147 lopputalven aikaisia lämpötilan, happi- ja kokonaisfosforipitoisuuden syvyyssuuntaisia jakaumia vuosilta 1957-1986 (Kinnunen 1986).

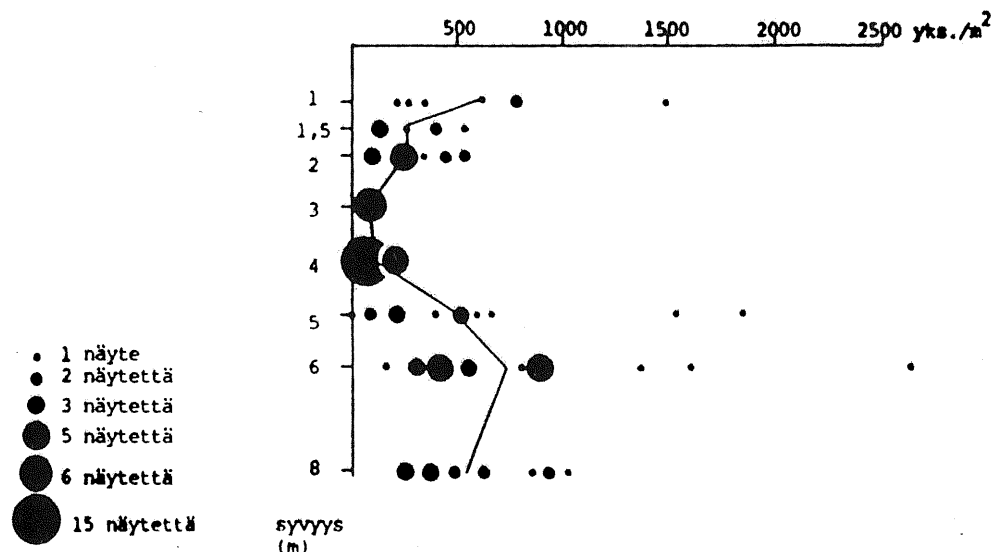
veden laatu on samankaltainen kuin niihin yhteydessä olevien runko-osan vesialueiden veden laatu, mutta kerrostuneisuutta ja pohjaläheisten kerrosten hapen puutetta esiintyy lopputalvisin säännönmukaisesti.

5. RANTAVYÖHYKKEEN MUUTOKSET

Säännöstelyllä nostettiin Kemijärven ylin pinta tulvakorkeudelle, mistä syystä entinen rantakivikko löytyy kesällä noin kahden metrin syvyydestä. Veden pinnan laskiessa kevättalvella säännöstelyvyöhyke jää ilman vesipeitettä jään alle ja ylimmissä osissa tapahtuu pohjan jäätymistä. Kevättulvan aikana vesi nousee nopeasti ja saavuttaa kesäkorkeutensa usein jo toukokuun puolen välin jälkeen.

Säännöstelyn käynnistämä rantaeroosio on ollut voimakkainta avoimilla kivennäisrannoilla, jotka voivat olla kasvittomia. Toisaalta suojaiset turverannat ovat lisääntyneet. Kasvillisuuden kehityksessä yleisenä piirteenä on ollut pienikokoisten eroosiota kestävien ja nopeasti lisääntyvien lajien yleistyminen samalla kun suuremmat ilmaversoiset lajit ovat selvästi vähentyneet. Tyypillistä on myös kasvillisuuden laikuttaisuus ja runsas vaihtelevuus. Rantavyöhykkeellä tavataan sekä ranta- että vesikasveja osoituksena säännöstelyn aiheuttamasta veden pinnan vaihtelusta. Hävinneitä kasvilajeja ovat mm. järviruoko, tummalahnaruoho, ruskoärviä ja järvisätkin. Eroosiota hyvin kestävä hapsiluikka on jopa kymmenkertaistunut, myös rantaleinikki, äimäruoho, katkeravesirikko, palpakot ja pikkuvesitähti ovat yleistyneet, samoin vesisammalet suojaisilla turverannoilla.

Rantavyöhykkeen pohjaeläimistön kehityksessä säännöstelyn aikana on samoja piirteitä kuin kasvillisuudessa: eroosion ja jäätymisen aiheuttamia ongelmia sietä-



Kuva 8: Litoraalilinjoiden pohjaeläintiheyksien syvyysjakauma. Käyrä on piirretty keskiarvopisteiden kautta (Tikkanen 1987)

vät, nopeasti lisääntyvät tai liikkuvat lajit ovat lisänneet osuuttaan. Käytännössä tämä on merkinnyt pienikokoisten surviaissääskitoukkien yleistymistä ja suurten hyönteistoukkien vähenemistä - kalojen pohjaeläinravinnon saatavuuden huononemista. Syvem- mällä entisen, miltei autioksi jääneen rantakivikon alapuolella, säännöstelyn alarajan tuntumassa pohjae- läinten yksilömäärät ovat suurimmillaan (kuva 8). Vallitsevana piirteenä on lajiston pohjoinen leima: joukossa on runsaasti kylmää vettä suosivia tai sie- täviä lajeja ja lajisto säilyy suhteellisen monipuol- lisenä. Litoraalissa ja profundaalissa on yhteistä lajistoa. Hapen puutetta indikoivaa pohjaeläimistöä tavattiin vain paikallisen, joko runsaamman rehevyy- den tai kevättalvella vallinneen eristyneisyyden osoituksena.

6. VOIMATALOUDEN VAIKUTUKSET KALAKANTOIHIN JA KALASTUKSEEN

Ks. Outi Heikinheimo-Schmid: Voimatalouden vaikutuk- set kalakantoihin ja kalastukseen Kemijärvessä.

7. TULEVAISUUS JA TOIMENPIDESUOSITUKSET

Kemijärven veden laatu on saavuttanut tasapainotilan, jossa se tulee säilymään hyvin pitkän aikaa, jos sii- hen vaikuttavissa tekijöissä ei tapahdu merkittäviä muutoksia (suuret muutokset Kemijärveen virtaavien vesien laadussa tai jätevesikuormituksessa). Kemijärven luonnontilan muutokset ovat vaikuttaneet pysyvästi järven tuotantoedellytyksiin. Säännöstely- vyöhykkeen köyhtyminen on alentanut järven ranta- alueiden tuotantoa, mutta toisaalta muutokset ovat voineet myös edistää rehevöitymistä.

Tulevaisuuden kannalta on tärkeää, että Kemijärven tilan ja kalakantojen kehittymistä seurataan riittä- vän laajasti osana koko vesistöalueen kattavaa seu- rantaa. Mikäli muutoksia esimerkiksi Kemijärven säännöstelyyn tai yläpuolisen vesistön voimatalou- delliseen käyttöön on suunnitteilla, niiden vaikutuk- set tulee arvioida ennen ratkaisujen tekemistä.

Suosituksat toimenpiteiksi koskevat enimmäkseen kala- taloutta, jonka kehittämiseen Kemijärvessä on edelly- tyksiä ja ilmeistä tarvetta. Erityisen tärkeäksi on nähty kalataloudellisen ohjausryhmän perustaminen (suunnittelu, hoitotoimenpiteet, neuvonta, kalastus). Niinikään on esitetty, että kalan käytön ja markki- noinnin kehittämistä jarruttaneet epäselvyydet kalo- jen elohopeapitoisuuksien tulkinnasta tulisi lääkin- töhallituksen selkeillä laskentaohjeilla poistaa.

Outi Heikinheimo-Schmid

VOIMATALOUDEN VAIKUTUKSET KALA - KANTOIHIN JA KALASTUKSEEN KEMI- JÄRVES SÄ

1 KEMIJÄRVEN KALASTUS JA SAALIIT

Tiedot Kemijärven luonnontilan aikaisesta kalastuksesta perustuvat pääosin Sormusen (1964) selvitykseen sekä Seppäsen (1967) Kemijoen yleistutkimukseen. Kemijärvellä oli 1950-luvulla viisi pääammattikalastajaa ja noin 1 000 muuta kalastajaa (Halme 1957). Ennen säännöstelyn alkua oli pääammattikalastus lakannut, mutta sivuammattikalastajia oli noin 100 (Sormunen 1964). Kalastuksen muuttuessa ammattikalastuksesta yhä enemmän kotitarve- ja virkistyskalastukseksi myös pyyntitavat muuttuivat. Nuottaus tyrehtyi, kun taas verkkojen, katiskojen ja heittokalastusvälineiden määrä kasvoi. 1950-luvulta alkaen siirryttiin vähitellen puuvillaverkoista huomattavasti tehokkaampiin keinokuituverkkoihin.

Kemijärven vuotuinen kokonaissaalis oli 1960-luvun alussa Sormusen (1964) mukaan noin 92 tonnia (4,6 kg/ha). Tärkeimmät lajit saaliissa olivat muikku, hauki ja ahven.

1980-luvulla tehtyjen tiedustelujen mukaan kalastajamäärä Kemijärvellä on ollut noin 1 000, josta sivuammattikalastajia on ollut 30-60. Kokonaissaalis oli vuonna 1980 195 tonnia (6 kg/ha), mutta vuonna 1982 67 tonnia (2 kg/ha) (kuva 1). Saaliiden aleneminen 1980-luvun alussa oli seurausta kalastajamäärän ja pyyntiponnistuksen vähenemisestä, vaikkakin osa saaliiden välisestä suuresta erosta johtuu erilaisista tiedustelumenetelmistä. Syynä kalastuksen vähenemiseen ovat todennäköisesti olleet tiedot Kemijärven petokaloista löytyneistä korkeista elohopeapitoisuuksista sekä samaan aikaan tapahtunut muikkukannan heikkeneminen (Heikinheimo-Schmid ja Huusko 1987a).

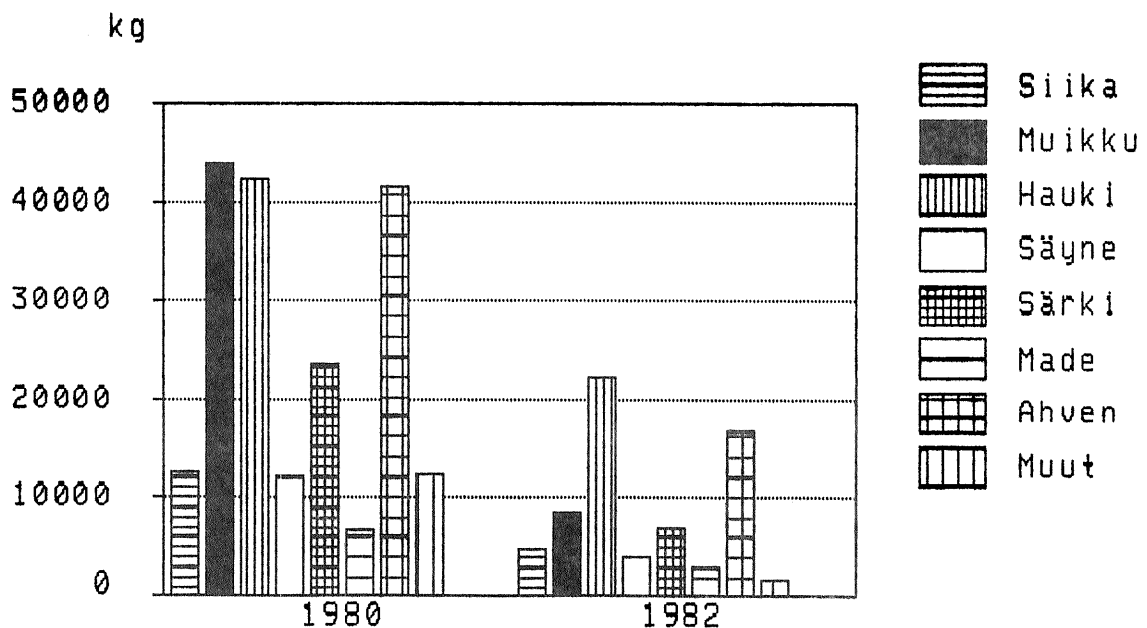
Kalansaaliin koostumus ei ole merkittävästi muuttunut verrattuna luonnontilaan. Tärkeimmät lajit saaliissa ovat edelleen muikku, hauki ja ahven (kuva 1).

Kemijärveen on istutettu 1960-luvulta alkaen 1-kesäisinä useita eri siikamuotoja, vaellussiikaa, planktonsiikaa, peledsiikaa ja pohjasiikaa. Viime vuosina keskimääräinen istutusmäärä on ollut noin 10 kpl/ha. Istutusten tulos on jäänyt vähäiseksi. Nykyisestä siikasaa- liista on noin kolmannes luonnollisesti lisääntyvää jokikutuista siikaa ja loppuosa istutettua plankton- ja

peledsiikaa. Vaellussiika- ja pohjasiikaistutusten vaikutusta ei näy saaliissa.

Järvitaimenta on istutettu Kemijärveen 1960-luvun lopulta lähtien yhteensä lähes 200 000 kpl, suurimmaksi osaksi 2-vuotiaina poikasina. Järvitaimenistutusten tulos on samoin ollut heikko, saalistietojen perusteella arvioituna 10-20 kg tuhannesta istukkaasta.

Kemijärven kalatalouden erityisongelmia ovat elohopea- ja haju- ja makuhaitat, jotka vähentävät kiinnostusta kalastukseen ja vaikeuttavat kalan markkinointia. Makuhaitat rajoittuvat suhteellisen suppealle alueelle, lähinnä Veitsiluodon tehtaan jätevesien vaikutusalueelle, ja niitä esiintyy lähes yksinomaan petokaloissa kuten hauessa, ahvenessa ja mateessa. 1980-luvun alussa todetut 0,5 mg/kg:n rajan ylittävät elohopeapitoisuudet Kemijärven hauissa johtivat sen käyttörajoitukseen. Vaikutus kohdistui kuitenkin muidenkin kalalajien pyyntiin ja markkinointiin ja aiheutti todennäköisesti tiedustelutuloksissa näkyvän pyyntiponnistuksen ja saaliiden alenemisen vuosien 1980-1982 välillä. Kohonneet elohopeapitoisuudet kaloissa ovat yhteydessä veden sisältämän orgaanisen aineksen määrään (Verta ym. 1986), johon myös säännöstely ja yläpuoliset tekoaltaat ovat vaikuttaneet. Vuoden 1985 tutkimuksissa kuitenkin todettiin, että Kemijärven kalojen elohopeapitoisuudet eivät olleet Suomen järvien keskimääräisiä arvoja korkeampia (Surma-aho ja Knuutila 1985). 1980-luvun alkuvuosien jälkeen kiinnostus kalastukseen on uudelleen alkanut voimistua Kemijärvellä. Hauen markkinointi ulkomaille on ratkaisevasti parantanut tilannetta. Samoihin aikoihin myös muikkukanta elpyi. Vuonna 1984 myytiin Kemijärven kalaa yli 20 tonnia, valtaosa haukea ja muikkua (Partanen 1987).



Kuva 1. Kemijärven kalansaalis lajeittain vuosina 1980 ja 1982.

2 VOIMATALOUEDELLISEN KÄYTÖN VAIKUTUKSET

Kemijärven kalatalouteen vaikuttavista luonnontilan muutoksista merkittävin on vedenkorkeuden säännöstely. Sen vaikutus kohdistuu kalojen lisääntymiseen, poikasten eloonjäämiseen ja kalojen ravintovaroihin. Kalastuksen vaikeutuminen edistää kalaston koostumuksen ja ikärakenteen muuttumista epäedulliseen suuntaan.

2.1 Säännöstelyn vaikutukset kalojen lisääntymiseen

Vedenkorkeuden laskiessa talven aikana säännöstelyvyöhykkeeseen laskettu syyskutuisten kalojen, siian ja muikun, mäti jää kuiville. Mäti tuhoutuu täysin jäätyvällä alueella, mutta osa siitä säilyy jään painamassa, mutta sulana pysyvässä säännöstelyvyöhykkeen osassa (Tikkanen ja Hellsten 1987). Säännöstely vaikuttaa myös kutualustojen laatuun varsinaisen säännöstelyvyöhykkeen alapuolella. Säännöstelyvyöhykkeestä eroosion vaikutuksesta irtoava aines sedimentoituu kutualueille, jolloin mm. pohjan happiolosuhteet heikkenevät ja mädin kuolevuus lisääntyy. Kemijärvessä voimakkaalla virtauksella on toisaalta vastakkainen vaikutus: Se huuhtoo pohjaa, vähentää sedimentoitumista ja edesauttaa korkean happipitoisuuden säilymistä syvälläkin sijaitsevilla kutualueilla läpi talven.

Järvikutuinen siika kutee kalastajilta saatujen tietojen mukaan loka-marraskuussa 2-6 metrin syvyydessä. Veden pinnan aleneminen talven aikana estää näin ollen mädin kehittymisen täysin järven keski- ja eteläosassa. Lisääntyminen voi onnistua osittain pohjapatojen ja itäisen haaran luonnonkynnyksen takaisilla alueilla. Laskelmien mukaan 90 % järvikutuisen siian luonnontilan aikaisista kutualueista on menetetty. Yläpuolinen Kemijoki sivuhaaroinen tarjoaa sen sijaan Kemijärven jokikutuiselle siialle runsaasti kutualustoja.

Muikun kutusyvyys vaihtelee Kemijärvessä yhdestä 10 metriin. On arvioitu, että noin puolet lasketusta mädistä tuhoutuu talven aikana veden korkeuden alenemisen vuoksi ja muikun tehollinen kutualueiden pinta-ala on nykyisin noin 60 % luonnontilan aikaisesta. Säännöstelyvyöhykkeen alapuolella osa mädistä säilyy mätisumputuskokeiden mukaan hengissä, ilmeisesti hyvän happi-tilanteen ansiosta. Suurimmassa osassa järveä pohjan happiolosuhteet eivät ole muikun mädin säilymistä rajoittava tekijä, koska voimakas virtaus estää kerrostumisen talven aikana (Tikkanen ja Hellsten 1987).

Elossa säilyvän mädin osuus ei suoraan heijastu syntyvän vuosiluokan runsauteen, vaan se määräytyy suureksi osaksi poikasvaiheen aikana. Poikasten kuoriutumisaikakohdan olosuhteilla ja niiden saatavissa olevan ravinnon määrällä on tässä ratkaiseva vaikutus (mm. Salojär-

vi 1987). Säännöstellyn järven rantavyöhykkeen routiintuminen hidastaa rantaveden lämpenemistä keväällä ja viivästyttää kalanpoikasille elintärkeän planktonin kehitystä. Kemijärvessä mätää säilyy hengissä vain syvemmissä vyöhykkeissä, jolloin poikaset kuoriutuvat ulapalla, ja rantautuminen tapahtuu selvästi myöhemmin ja epämääräisemmin kuin luonnontilaisissa järvissä. Järven poikkeukselliset virtausolot saattavat myös vaikuttaa poikasten rantautumiseen (Huusko ja Karttunen 1987).

Säännöstelyn vaikutus kohdistuu kevätkutuisista kaloista varhain keväällä rannoilla ja tulvaniityillä kuteviin lajeihin kuten haukeen ja säyneeseen. Säännöstelyn kuluttava vaikutus tuhoaa ruohikkoisia tulva-alueita, jolloin hauen kutualueet vähenevät. Säyne kutee osaksi samantyyppisillä alueilla kuin hauki. Lisäksi kalojen kutuvaellus pengerryksin erotettuihin sivujärviin on estynyt. Kemijärven suojaisilla, loivilla alueilla on kuitenkin jäljellä kangasturverantoja ja yleensä säännöstelyn alkuvaiheelle tyypillisiä turvelauttarantoja. Tällaiset rannat ovat kasvillisuudeltaan reheviä. Järven pohjoisosan suistoalueen entiset tulvaniityt ovat avovesikaudella pääosin veden alla. Myös näillä alueilla on tiheää kasvillisuutta (Hellsten ja Joronen 1986). Järven yläpuolisella Kemijoella oli jo ennen säännöstelyäkin suuri merkitys kevätkutuisien kalojen kutualueena (Sormunen 1964).

Sormunen (1964) mainitsee, että luonnontilan aikana hauen mätää saattoi jäädä kalastajien mukaan kuiville kevättulvan laskiessa. Toisaalta tulva voi nykyisin olla vasta nousemassa hauen kudun alkaessa, jolloin koko kutualueiden pinta-ala ei ole käytettävissä. Kummassakin tapauksessa mätimäärä on kuitenkin ollut riittävä pitämään yllä runsasta haukikantaa. Mädin kuiville jääminen säännöstelyn seurauksena ei kevätkutuisien kalojen kohdalla ole ongelmana, koska vesi jää niiden lisääntymiskauden ajaksi lähes tulvakorkeuteen.

Säännöstely vaikeuttaa ilmeisesti myös säyneen ja talvikutuisen mateen lisääntymistä. Kuhan lisääntymiskautena ei vedenkorkeus Kemijärvessä vaihtelee suuresti, mutta muut säännöstelyn aiheuttamat muutokset saattavat lisätä mädin ja poikasten kuolevuutta. Kuha on Kemijärvessä esiintymisalueensa pohjoisrajoilla, joten epäedulliset ympäristöolosuhteet saattavat herkästi aiheuttaa kannan romahtamisen.

2.2 Säännöstelyn vaikutukset kalojen ravintovaroihin

Kemijärven litoraalin pohjaeläimistössä on havaittavissa säännöstellyille järville tyypillisiä piirteitä. Suuret, pohjan pinnalla liikkuvat hyönteistoukat ja

äyriäiset, jotka luonnontilassa olivat litoraalin valtalajeja, ovat nyt harvalukuisia ja puuttuvat laajoilta alueilta (Tikkanen 1987). Nykyisessä pohjaeläimistössä ovat hallitsevina pohjasedimentissa elävät surviaissääsken toukat (Chironomidae), joiden merkitys kalojen ravintona on huomattavasti vähäisempi. Litoraalin pohjaeläinravinnosta ovat riippuvaisia mm. harvasiivilähämpaiset siiat (vaellussiika, pohjasiika), jotka ovat huonosti sopeutuneet käyttämään pienikokoista planktonravintoa, sekä nuoret järvitaimenet ennen siirtymistään kalaravintoon.

Litoraalin ravintovarojen väheneminen merkitsee sitä, että entistä useammat kalalajit joutuvat kilpailemaan samoista ravintokohteista, pääasiassa planktonista. Kemijärvässä ravintotutkimusten tulokset osoittivat, että harvasiivilähämpaiset siiat olivat siirtyneet pohjaeläinravinnosta planktonpainotteiseen ravintoon, ja kaikkien eri siikamuotojen ravinto oli nyt varsin samankaltaista (Sormunen 1964, Huusko 1987). Ahvenen ruokavaliosta kala muodosti poikkeuksellisen suuren osan, mikä saattaa viitata pohjaeläinravinnon niukkuuteen (Huusko 1987).

2.3 Säännöstelyn vaikutukset kalastukseen

Säännöstelyn suoranaiset vaikutukset kalastukseen ovat mm. seuraavat:

- pyydysten rikkoutuminen
- pyydysten likaantuminen
- vesialueiden jääminen kuiville talvella
- kalojen kutu- ja oleskelualueiden muuttuminen

Haastatellut kalastajat kokivat pahimmiksi kalastusta haittaaviksi tekijöiksi Kemijärvellä pohjan raivaamattomuuden ja pyydysten likaantumisen (Heikinheimo-Schmid ym. 1987). Vedenpinnan noston seurauksena on veden alle jäänyt puiden kantoja ja oksia, jotka rikkovat pyydyksiä tai tekevät verkko- ja nuottapyynnin mahdottomaksi. Rannoilta irtoava orgaaninen aines aiheuttaa pyydysten likaantumista varsinkin keväällä veden noustessa nopeasti säännöstelyvyöhykkeelle.

Vedenpinnan ollessa alimmillaan lopputalvella laajat alueet, etenkin matalat rannat ja lahdet, ovat kokonaan vedettömiä. Pohjapatojen takaisilla alueilla on tilanne parempi. Vedenkorkeuden jyrkkä aleneminen ajoittuu maalis- ja huhtikuuhun.

Vedenkorkeuden ja virtaamien muuttuminen sekä kalojen kutualueiden menetykset ovat aiheuttaneet myös kalojen pyyntipaikkojen vähenemistä, ja siten vanha kalastustietous on menettänyt merkitystään.

2.4 Pohjapadottujen alueiden merkitys

Pohjapatojen takaisilla alueilla jään kuluttava vaikutus ei ulotu yhtä syvälle kuin täyden säännöstelyn alaisilla rannoilla, mutta aliveden taso yltää näissäkin kasvillisuusrajan alapuolelle. Pohjapadotuissa osissa on kuitenkin mm. suurempi osa syyskutuisten kalojen lisääntymisalueista säästynyt kuin täyden säännöstelyn alueella. Todennäköisesti pohjapadot parantavat myös kevätkutuisten kalojen (hauki, säyne, särki, ahven) lisääntymismahdollisuuksia, koska lievemmän säännöstelyn vuoksi rantojen kuluminen ei ole yhtä voimakasta. Kalastusmahdollisuuksien kannalta pohjapadoilla on ollut suuri merkitys.

3 KEMIJÄRVEN KALAKANTOJEN NYKYINEN TILA

Kemijärven kalaston koostumusta muokkaavat sekä ympäristötekijät että kalastus. Säännöstely on supistanut syyskutuisten kalojen kutualueita, mutta ei rajoita useimpien keväällä kutevien kalalajien kuten särjen ja ahvenen lisääntymistä. Kun kalastuspaine on suhteellisen alhainen, ja verkot ovat yleisin käytetty pyydystyyppi, tiheät ja hidaskasvuiset särki- ja ahvenkannat jäävät suureksi osaksi kalastuksen ulkopuolelle. Samalla suurien petokalojen kuten hauen tehokas pyynti lieventää pienikokoisiin kaloihin kohdistuvaa predaatiota. Myös siikojen heikko kasvu viittaa kannan liialliseen tiheyteen. Kun Kemijärven yläpuoliseen jokivesistöön on istutettu runsaasti siikaa, ja suuri osa istukkaista vaelttaa ilmeisesti alaspäin, on siian keskimääräinen istutustiheys saattanut todellisuudessa nousta lähes 40:een hehtaarille. Kemijärven luusuassa todettiin kalojen vaeltavan alkukesällä parvittain alavirtaan, valtalajeina istutettu vaellussiika, muikku ja järvitaimen (Heikinheimo-Schmid ja Huusko 1987b). Vaellussiian ja järvitaimenen heikkoon istutustulokseen onkin ilmeisesti syynä niiden vaellus pois järvestä, mitä osoittavat myös järvitaimenen merkintätulokset. Alasvaellus on siian ja muikun kohdalla merkinä heikosta ravintotilanteesta, toisin sanoen siitä, että kalakantojen tiheys saatavissa oleviin ravintovaroihin nähden on liian suuri. Järvitaimenen osalta kysymys saattaa olla pohjaeläinravinnon puutteesta sekä Kemijärven voimakkaasta läpivirtauksesta. Istutuksissa käytetyt järvitaimenkannat saattavat myös olla herkkiä vaeltamaan pois istutusalueelta.

Muikkukannan tila Kemijärvessä on nykyisin hyvä. Kanta on elpynyt tasaisesti vuoden 1982 jälkeen, eikä merkkejä saaliiden heikkenemisestä ole havaittu. Nuottauksen viriämisen myötä muikun kalastus on tehostunut.

Kemijärven kalatalouden nykyinen tilanne ja siihen

Kalakannan tuottoa säätelevät tosiasiasa mm. kalaston koostumus, eri lajien sijoittuminen ravintoverkostossa ja sopivan ravinnon saatavuus, kalojen kuolevuus etenkin mätä- ja poikasvaiheessa sekä kalastus, joihin kaikkiin myös ympäristömuutokset vaikuttavat. Kokonaisvahingon arviointi vaatisi erittäin laajoja ja pitkäaikaisia tutkimuksia. Etenkin mätä- ja poikasvaiheiden osalta tunnetaan kalakannan tuottoa säätelevät mekanismit vielä varsin puutteellisesti.

Tuoton alenema tulee näkyviin saaliissa ainoastaan kalastuksen ollessa tehokasta. Jos koko kalakannan tuottoa ei hyödynnetä, saaliiden vaihtelu määräytyy muiden tekijöiden mukaan. Taloudellisten vaikutusten selville saamiseksi olisi tarkasteltava myös kalastuksen luomia rahavirtoja ja siitä aiheutuvan kulutuksen kerrannaisvaikutuksia, jotka ulottuvat mm. kauppaan ja matkailuun. Etenkin virkistys- ja kotitarvekalastukseen liittyy sosiaalisia tekijöitä ja aineettomia arvoja, joiden merkitys on suuri, mutta rahallisen arvon määrittäminen käytännöllisesti katsoen mahdotonta.

4 EHDOTUKSET KALAKANTOJEN HOITOTOIMENPITEIKSI

4.1 Säännöstelyn lieventäminen

Säännöstelyn alarajan nostolla olisi useita kalatalouden kannalta edullisia vaikutuksia, tärkein niistä muikun ja järvikutuisen siian lisääntymisalueiden laajeneminen. Kemijärven pohjan profiilista johtuen yhden metrin nostolla ei vielä olisi juurikaan vaikutusta, sillä muikun lisääntymisalueiden pinta-ala kasvaisi ainoastaan 6 %:lla. Kahden metrin alarajan nostolla saavutettaisiin jo lähes 40 %:n lisäys muikun kutualueisiin, ja järvikutuisen siian kutualueiden pinta-ala kasvaisi yli kymmenkertaiseksi nykyiseen tilanteeseen verrattuna.

Suurille pohjaeläimille sopivan litoraalialueen laajeneminen lisäisi pohjaravintoa käyttävien kalojen, mm. harvasiivilähampaisten siikojen ja nuorten järvitaimenten ravintovaroja. Kalastusmahdollisuudet paranisivat erityisesti talvella, kun nykyistä suurempi järven pinta-alasta olisi veden peitossa.

4.2 Istutukset

Siian istutustiheys on Kemijärvessä tällä hetkellä liian suuri, kun otetaan huomioon, että järvessä on luonnonvarainen siika- ja muikkukanta, istutettuja siikoja vaeltaa sinne myös yläpuolisesta vesistöstä, ja kalastuspaine on alhainen.

Tiheäsiivilähampaaiset siikamuodot kuten plankton- ja peledsiika, jotka ovat sopeutuneet elämään planktonravinnolla, ovat parhaiten sopivia Kemijärven istutuska-loiksi. Jos niiden vuosittaiset istutusmäärät pidetään nykyisellä tasolla ja harvasiivilähampaisten siikojen (vaellussiian ja pohjasiian) istutuksista luovutaan, tulisi istutustiheydeksi 6-7 kpl hehtaarille vuodessa.

Järvitaimenistutukset tuottavat usein säännöstelyjär-vissä heikon tuloksen (Toivonen ym. 1983). Kookkaammil-la poikasilla (vähintään 25-30 cm), jotka kykenevät käyttämään kalaravintoa, on kuitenkin saavutettu parem-pia tuloksia (FÅK 1986). Kemijärven itäinen haara sopisi todennäköisesti paremmin järvitaimenen elinalu-eeksi kuin voimakasvirtainen pääallas. Eri järvitaimen-kannat saattavat olla vaellustaipumuksiltaan erilaisia. Kemijärven olisi syytä kokeilla muita kuin nykyisin käytettäviä taimenkantoja, esimerkiksi yläpuolisesta Kemijoen vesistöstä peräisin olevaa purotaimenta ja Kitkajoen järvitaimenta. Istutusten ajoittumista uitto-aikaan olisi vältettävä.

4.3 Kalastuksen järjestely

Kalastus on yksi tärkeimmistä kalakantojen hoitotoimen-piteistä. Kalakantojen tehokas hyödyntäminen on edelly-tys istutusten kannattavuudelle. Oikein mitoitettu ja suunnattu kalastus muuttaa kalalajikoostumusta edulli-semmaksi, parantaa kalojen kasvua, nuorentaa kantojen ikärakennetta ja jopa lisää kalakannan tuottoa.

Kalastuksen painopistettä on pyrittävä siirtämään verkkokalastuksesta koukkupyyntiin, nuotta-, katiska- ja rysäkalastukseen. Verkkojen solmuvälirajoituksia ei tule asettaa. Nykyistä runsaampi tiheiden verkkojen (n. 30 mm) käyttö on suositeltavaa.

Muikunpyynnin tehostaminen on tärkeää. Erityisesti on kehitettävä nuottapyyntiä, joka on vähemmän valikoivaa kuin muikun verkkopyynti ja harventaa myös ensimmäisen kesän muikkua. Tehokkaalla pyynnillä voidaan muikun vuosiluokkakiertoa nopeuttaa ja kannanvaihteluja vai-mentaa, jolloin muikun saatavuus on tasaisempaa (Salo-järvi 1986).

Ammattikalastusta voidaan kehittää Kemijärvellä lähinnä muikun ja hauen pyyntiin perustuen. Muikun käyttöä eivät rajoita elohopea- tai makuhaitat. Hauen markki-nointitiet ulkomaille ovat jo olemassa. Myös siika voi olla ammattikalastuksen kohteena, jos sen kasvu saadaan tehostetulla kalastuksella ja edellä mainituilla istu-tustoimenpiteillä paranemaan. Siian isorysäpyynnillä on saatu Oulujärvessä hyviä tuloksia. Isorysäpyynti on syytä sallia ainakin ammattimaisessa kalastuksessa.

Virkistyskalastuksen kehittämismahdollisuudet Kemijärvellä ovat hyvät ottaen huomioon Kemijärven kaupungin läheisyyden, runsaat haukikannat ja jätevesihaittojen rajoittumisen suhteellisen suppealle alueelle. Kuhakanan elpyminen ja taimenistutusten onnistuminen edistäisi myös virkistyskalastusta. Järjestetyt kalastusretket voisivat kiinnostaa matkailijoita.

Hauissa todettujen elohopeapitoisuuksien ei tarvitse olla esteenä sen virkistyskalastuskäytölle. Tarpeettomia hauen ja muun kalan käyttöön kohdistuvia ennakkoluuloja on pyrittävä tiedotuksella poistamaan ja kalojen elohopeapitoisuuksia on säännöllisesti tutkittava.

K I R J A L L I S U U S

FÅK 1986: Fiskevård i älvmagasin. Slutrapport, del I. Sundsvall. 155 s.

Halme, E. 1957: Kemijoen vesistöalueen kalatalousolojen kehittämistä. Helsinki. Maataloushallituksen kalataloudellinen tutkimustoimisto. Monistettuja julkaisuja 2. 478 s.

Heikinheimo-Schmid, O. 1987: Kalastus Kemijärvessä vuonna 1982. Helsinki. RKTL, kalantutkimusosasto. Monistettuja julkaisuja 68, s. 43-82.

Heikinheimo-Schmid, O. & Huusko, A. 1987a: Kemijärven kalatalouden nykytila ja ehdotukset kalakantojen hoitotoimenpiteiksi. Helsinki. RKTL, kalantutkimusosasto. Monistettuja julkaisuja 69. 212 s.

Heikinheimo-Schmid, O. & Huusko, A. 1987b: Kalojen alasvaellus Kemijärvestä. Helsinki. RKTL, kalantutkimusosasto. Monistettuja julkaisuja 68, s. 223-251.

Heikinheimo-Schmid, O., Nenonen, M., Liekonen, E. ja Huusko, A. 1987: Kalastus Kemijärvessä vuonna 1980. Helsinki. RKTL, kalantutkimusosasto. Monistettuja julkaisuja 68, s. 1-42.

Hellsten, S. & Joronen, R. 1986: Kemijärven litoraalin kasvisto ja kasvillisuus sekä niihin vaikuttavat ekologiset tekijät vuosina 1982-1983. Rovaniemi. Kemijoen vesiensuojeluyhdistys ry. 39 s. (Moniste.)

Huusko, A. 1987: Siian ja ahvenen ravinnosta Kemijärvessä. Helsinki. RKTL, kalantutkimusosasto. Monistettuja julkaisuja 68, s. 195-222.

- Huusko, A. & Karttunen, V. 1987: Kalanpoikasten esiintymisestä Kemijärvestä vuonna 1985. Helsinki. RKTL, kalantutkimusosasto. Monistettuja julkaisuja 68, s. 175-194.
- Kinnunen, K. 1986: Kemijärven ja siitä pengerrettyjen järvien tilan kehittyminen Kemijärven säännöstelyn aikana. Avustavan virkamiehen veden laatua koskeva lausunto Kemijärven säännöstelyn lopputarkastusta varten. Rovaniemi. Lapin vesi- ja ympäristöpiiri. 88 s. + 12 liitettä. (Moniste).
- Kinnunen, K. 1987: Kemijärven tilan kehittyminen järven säännöstelyn aikana. Helsinki. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja. (Painossa).
- Nenonen, M. (toim.) 1987a. Kemijärven tila ja kalatalous. (English summary: The state and fisheries of Lake Kemijärvi. Final report and proposal for future action). Helsinki. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja 13. 134 s.
- Nenonen, M. 1987b: Selvitys Kemijärven kaloissa esiintyvistä haju- ja makuvirheistä. Helsinki. RKTL, kalantutkimusosasto. Monistettuja julkaisuja 68, s. 113-147.
- Partanen, H. 1987: Selvitys Kemijärven kalan markkinoinnista. Helsinki. RKTL, kalantutkimusosasto. Monistettuja julkaisuja 68, s. 83-111.
- Reuna, M. 1979: Vedenkorkeuden aikakäyriä ja pysyvyyksiä. Helsinki. Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja 33. 85 s.
- Ronkainen, J. 1987: Kemijärven kasviplanktontutkimuksista. Rovaniemi. Kemijoen vesiensuojeluyhdistys ry. 8 s. (Moniste).
- Salo, O. 1985: Kemijärven aluetarkkailun vuosiyhteenvedo vuodelta 1984. Laadittu Lapin vesitutkimus Oy:ssä. Rovaniemi. Kemijoen vesiensuojeluyhdistys ry. 7 s. + 5 liitettä.
- Salojärvi, K. 1987: Why do vendace (*Coregonus albula* L.) populations fluctuate? *Aqua Fennica* 17 (1), p. 17-26.
- Seppänen 1967: Kemijoen yleistutkimus vv. 1964-1966. Laadittu insinööritoimisto Oy Vesitekniikka Ab:ssä. Rovaniemi. Kemijoen vesiensuojeluyhdistys ry. 411 s. + 36 liites.

- Sormunen, T. 1964: Kemijärven säännöstelyn kalataloudellinen ja limnologinen tutkimus. I. Luonnon-tila ja ehdotukset. Helsinki. Kalataloussäätiön monistettuja julkaisuja no. 8. 91 s.
- Surma-aho, K. & Knuutila, M. 1985: Tutkimusraportti Kemijoen ja Kemijärven kalojen elohopeapitoisuuksista. Jyväskylä. Jyväskylän yliopisto, Ympäristöntutkimuskeskus. 12 s. + 13 liites. (Moniste).
- Tikkanen, P. 1987: Kemijärven pohjaeläinyhteisöistä litoraalissa ja profundaalissa sekä niitä säätelevistä tekijöistä. Rovaniemi. Kemijoen vesiensuojeluyhdistys ry. 53 s. (Moniste).
- Tikkanen, P. & Hellsten, S. 1987: Muikun kutualueista ja mädin selviytymisestä Kemijärvessä vuosina 1982-1985. Helsinki. RKTL, kalantutkimusosasto. Monistettuja julkaisuja 68, s. 149-173.
- Toivonen, J., Ikonen, E., Lindström, A., Alapassi, T. & Kokko, U. 1983: Järvitaimenen merkittyjen poikasten istutukset Suomessa vuosina 1959-1969. Helsinki. RKTL, kalantutkimusosasto. Monistettuja julkaisuja 15. 226 s.
- Verta, M., Rekolainen, S. & Kinnunen, K. 1986: Causes of increased fish mercury levels in Finnish reservoirs. Vesihallitus. Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja 65, p. 44-58.
- Vesihallitus 1980: Lapin vesien käytön kokonaissuunnitelma. Vesihallituksen asettaman työryhmän ehdotus. Helsinki. Tiedotus 186, osa I: 150 s., osa II: 285 s.

EKOLOGISET NÄKÖKOHDAT POHJOIS-SUOMEN JÄRVIER SÄÄNNÖSTELYSSÄ**1 J O H D A N T O**

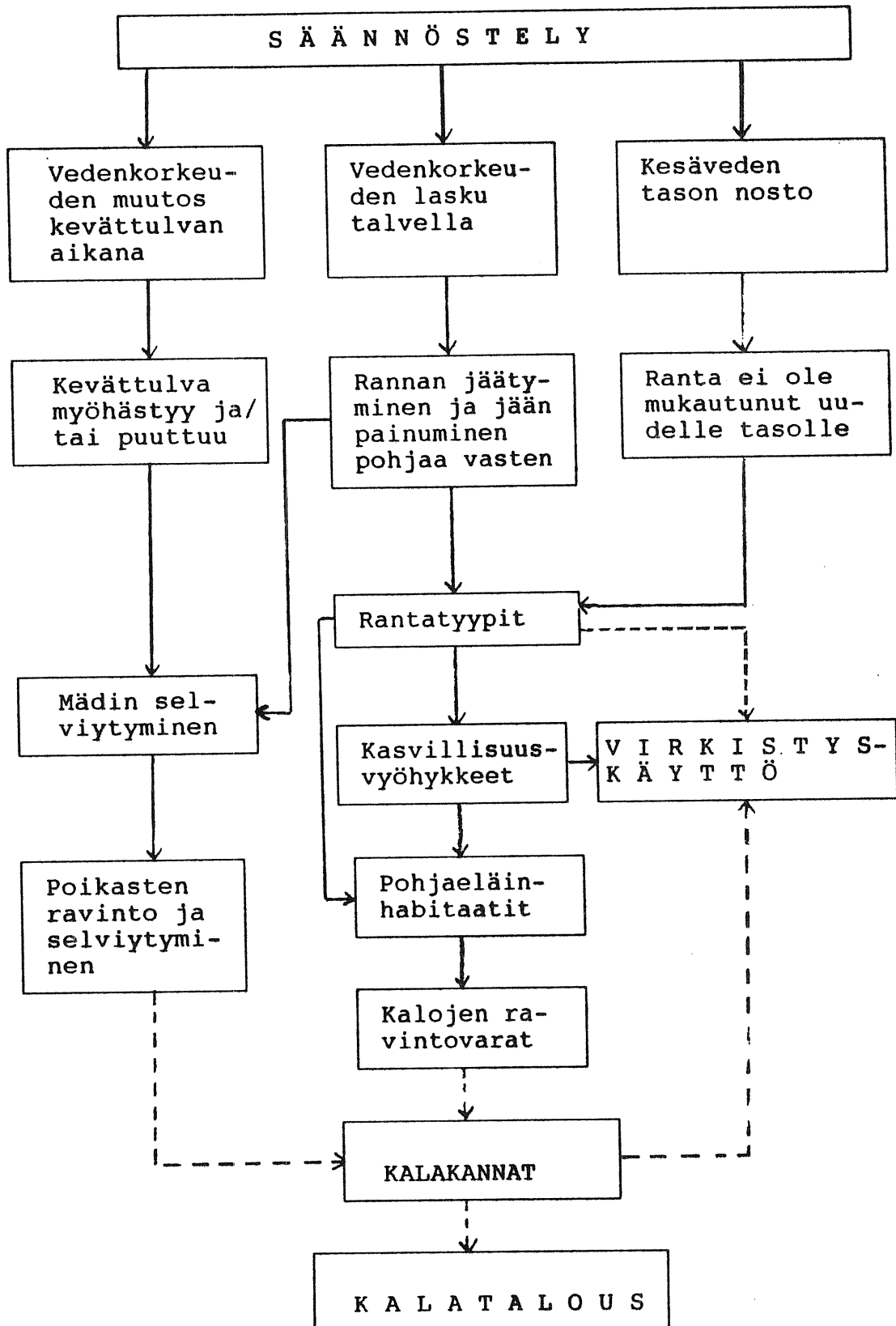
Suomessa on noin 220 yli neliökilometrin suuruista säännösteltyä järveä (Kuusisto 1988). Näistä yli 30 sijaitsee Oulun ja Lapin lääneissä. Pohjois-Suomessa järvien säännöstely on voimakkaampaa kuin Etelä-Suomessa ja vesistöjä säännöstellään lähinnä voimatalouden tarpeisiin. Pohjois-Suomessa säännöstelyjärvien kesävedenpintaa on yleensä nostettu (0,5 - 3,5 m) ja veden korkeutta lasketaan vuosittain talven aikana 2 - 7 m. Etelä-Suomessa lievä säännöstely (0,5 - 2,0 m) on yleensä toteutettu alaspäin.

Tietoa säännöstelyn vaikutuksista on kertynyt runsaasti eri tutkimusten yhteydessä. Tieto on kuitenkin suhteellisen hajanaista ja keskittyy lähinnä kalatalousvaikutusten selvittelyyn. Tiedon kokoamiseksi ja täydentävän tiedon hankkimiseksi toteutettiin v. 1984 - 1987 tutkimusprojekti (ECOREGU), jonka tarkoituksena oli hankkia Pohjois-Suomen alueelle sovellettavissa olevaa tietoa. Seuraavassa tarkastellaan pohjoissuomalaisen järvien säännöstelyn ekologisia edellytyksiä edellä mainitun projektin tulosten valossa. Tarkastelu tehdään yksinomaan ekologisten näkökohtien valossa; hydrologiset, tekniset ja taloudelliset edellytykset jätetään tässä yhteydessä huomioon ottamatta.

2 P R O J E K T I N K U V A U S

Tutkimus toteutettiin Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen rakennuslaboratorion, Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen, vesi- ja ympäristöhallinnon ja Oulun yliopiston yhteistyönä. Yhteistyösapuolten ohella päärahoittajat olivat Suomen Akatemia ja maa- ja metsätalousministeriö.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää säännöstelyn vaikutuksia järven ekologiaan ja etsiä keinoja haitallisten vaikutusten lieventämiseksi. Tutkimuksen painopiste asetettiin järven rantavyöhykkeeseen kohdistuvien vaikutusmekanismien selvittämiseen. Kirjallisuusselvitysten (Hellsten 1983, Kinnunen 1983, Hellsten ja Alasaarela 1984) pohjalta kokonaisongelma paloiteltiin käsiteltävissä oleviin osiin. Ongelmanasettelun (kuva 1) avulla nivellettiin vesiekosysteemin eri osa-alueet toisiinsa. Tutkimus rajattiin yksinomaan ekologisiin näkökohtiin ja kalakannat jätettiin tutkimuksen ulkopuolelle.



Kuva 1. Tutkimusprojektin (ECOREGU) ongelmanasettelu.

Projektin kenttätöitä tehtiin Kainuun alueella v. 1984-1987. Pääkohteet olivat Ontojärvi (102 km², säännöstelyväli 4,4 m) ja Lentua (90 km², ei säännöstelty). Tulosten yleistettävyyttä testattiin myös eräissä muissa Kainuun alueella sijaitsevilla järvillä. Säännöstelyn vaikutuksia eriteltiin tutkimalla järven sisäisiä vaikutusmekanismeja ja vertailemalla säännöstellyn järven ekologisia olosuhteita järveen, jota ei säännöstellä.

Projektin tuloksia esitellään tässä julkaisussa toisaalla (Hellsten ym. 1988). Seuraavassa esitetään projektin tulosten pohjalta yleisiä näkökohtia Pohjois-Suomen järvien säännöstelyyn liittyvistä ekologisista kysymyksistä.

3 S Ä Ä N N Ö S T E L Y N V A I K U T U K S E T E K O - L O G I S I I N T E K I J Ö I H I N

Vedenkorkeuden vuodenaikaisessa vaihtelussa tapahtuneet muutokset ovat ekologisesti ehkä tärkeämpiä, kuin ylijä aliveden korkeuksien vuotuisessa erotuksessa tapahtuneet muutokset. Tärkeitä tilanteita ovat seuraavat:

- vedenkorkeus alkutalven aikana (pakkaskausi)
- alin vedenkorkeuden taso kevättalvella
- vedenkorkeuden muutos kevättulvan aikana ja tulvahuipun syntyminen (ajankohta ja suuruus)
- kesäkauden vedenkorkeuden taso ja muutokset
- syksyn vedenkorkeuden taso.

Veden laadun muuttumiseen säännöstelyn johdosta voi vaikuttaa

- kylmien, runsaasti happea sisältävien pintavesien juoksutuksesta johtuva happivarannon väheneminen talvella
- tulvavesien osuuden lisääntyminen keväällä ja tästä johtuva vesien kylmeneminen ja alkaliniteetin aleneminen.

Vedenkorkeuden nosto on kanadalaisessa Southern Indian Lake'ssa aiheuttanut rantaeroosion, jonka tuloksena vedessä on jatkuva samennus (Hecky 1984). Toisessa kanadalaisessa järvisysteemissä, La Grand Complex, vaikutus todettiin vain ensimmäisenä vuotena säännöstelyn aloittamisen jälkeen (Roy ym. 1986). Pohjois-Suomen säännöstelyjärvissä rantavyöhykkeen maaperä on tyypiltään lähempänä jälkimmäistä. Useimmissa pohjoissuomalaisissa säännöstelyjärvissä vedenpinnan noston yhteydessä veden alle jäänyt orgaaninen aines on jo huuhtoutunut. Aallokon ja roudan erosioiva ja laskeutuvan jään puristava vaikutus ei huomattavasti muuta edes rannan tuntumassa olevien vesien laatua.

Jään ja jäätymisen vaikutuksesta muodostuu talvella rantavyöhykkeen vesijättöalueelle kaksi ekologisesti eriarvoista vyöhykettä:

- jäätyneen pohjan vyöhyke
- jäänpainumavyöhyke, jossa jää lepää sulan pohjan päällä.

Jäätyvä vyöhyke rajoittuu siihen tasoon, johon vedenkorkeus laskee sydäntalven aikana. Ekologinen stressi on suurin tässä vyöhykkeessä. Jäänpainumavyöhykkeellä elämää säilyy yli talven. Sedimentin pintaosa on kostea, kivien alustat tarjoavat eläimille suojapaikkoja ja sedimentin päällä on paikoittain vettä. Talven yli säilyneiden eläinten ja kalanmädin selviytymisen ratkaisee viipyykö jääpeite alueella siksi kunnes vesi nousee ko. tasolle; sedimentin pinnan kuivuminen on eläimille kohtalokasta.

Geomorfologiset muutokset liittyvät pääasiassa avovesikauden vedenkorkeuden tason nostamiseen ja avovesikauden vedenkorkeuden vaihteluvälin kasvamiseen. Edellinen määrää prosessien tason rantaprofiilissa ja jälkimmäisellä on vaikutusta prosessien nopeuteen. Geomorfologiset prosessit tapahtuvat pääsääntöisesti vesi-ajan tuntumassa.

Vedenkorkeuden nousu avovesikaudella johtaa matalan rannan prosessien kiihtymiseen ja törmäkulutuksen lisääntymiseen ja syvän veden prosessit vaimenevat. Vedenkorkeuden laskun vaikutukset ovat päinvastaiset. Edellisessä tilanteessa kasvillisuus ja pohjaeläimistö kärsivät mutta jälkimmäisessä hyötyvät. Kyseiset muutokset tapahtuvat jo tilapäisen vedenpinnan muutoksen aikana. Mikäli vedenkorkeus muutetaan pysyvästi, käynnistyy geomorfologinen muutossarja, jolloin ranta muuttuu vähitellen uutta tasoa vastaavaan tilaan. Tämä muutossarja on ehkä tärkein järven ekologista mukautumista säätelevä tekijä.

Rantaprosesseja voimistaa vedenkorkeuden muuttuminen avovesikauden aikana. Kuta vähäisempiä vedenkorkeusmuutoksia tapahtuu avoveden aikana, sitä vähäisempiä ovat prosessien aiheuttamat ekologiset haittavaikutukset. Erityisesti olisi tärkeää, että syksyn myrskyjen aikana vedenkorkeus ei olisi avovesikauden keskivettä korkeampana, jottei tilanne johtaisi voimakkaaseen törmäkulutukseen.

4. S Ä Ä N N Ö S T E L Y N B I O L O G I S E T V A I K U - T U K S E T

4.1 VESIKASVILLISUUS

Tärkeimmät säännöstelyyn liittyvät, vesikasvillisuuteen vaikuttavat tekijät ovat seuraavat:

- rantavyöhykkeen yläosan jäätyminen
- vedenkorkeuden tason nosto luonnontilaisesta avo-

- vesikauden aikana ja tähän liittyvä rantavyöhykkeen yläosan epästabiilisuus
- avoveden aikaisen vedenkorkeuden vaihtelu

Mikäli säännöstelyä aloitettaessa avovesikauden vedenkorkeustasoa nostetaan, uusi kasvillisuus on aikaisempaa harvempi ja sen vuosittaiset muutokset voivat olla huomattavia. Tämä johtuu rantavyöhykkeen yläosan epästabiilisuudesta ja jäätyminen vaikutuksesta. Ensin mainittu tekijä vaikuttaa ilmaversoihin vesikasveihin, erityisesti järvikortteen ja -ruo'on häviämiseen tai harvenemiseen. Jäätyminen vaikuttaa vedenalaisena kasvavien suurikokoisten isoetidien (erityisesti tumma lahnaruoho) vähenemiseen. Nämä kasvustot ovat pohjaeläinten suosimia alueita. Jään laskeutuminen sulan pohjan päälle ei voimakkaasti vahingoita kasvillisuutta.

Pohjan jäätyminen vaikutukset kasvillisuuteen riippuvat valaistun vesikerroksen paksuudesta. Mikäli jäätyvä vyöhyke ulottuu valaistun vesikerroksen alapuolelle, vaikutukset ovat suurimmat. Mikäli kesäveden korkeutta ei ole luonnontilaisesta muutettu ja jäätyvä vyöhyke ei kata pääosaa valaistusta vesikerroksesta, säännöstelyn vaikutukset vesikasvillisuuteen jäävät varsin vähäisiksi.

Vedenkorkeuden noston jälkeen järven rantaniityt ovat voineet kadota ja ilmaversoiset vesikasvit harventua. Ontojärvellä viimeksimainitut ovat kadonneet miltei täydellisesti. Kasvustot ovat olleet kevätkutuisille kaloille sopivia kutualueita. Vaikka kalojen kutu onnistuu edelleen, kudulle nousevien kalojen kalastettavuus on vaikeutunut, koska totutut pyyntialueet ovat muuttuneet.

Hyvien kalastuspaikkaominaisuuksien lisäksi ilmaversoilla kasveilla (esim. järviruoko) on merkitystä maisemallisena tekijänä. Käyttäjän kannalta haitallisten vesikasviryhmiä, uposlehtisten ja kelluslehtisten vesikasvien esiintymiseen ei säännöstelyllä ole suurtaakaan vaikutusta. Niiden määrät pyrkivät lisääntymään säännösteltyjen järvien suojaisilla rannoilla. Muutenkin on huomattava, että ilmaversoisten vesikasvien kannalta säännöstely on haitallinen vain, jos kesävedenkorkeutta on nostettu. Vedenkorkeuden laskeminen aiheuttaa vesikasvillisuuden lisääntymistä. Tämä on selvästi todettu Oulujärvessä.

Pienissä ja etenkin rehevissä järvissä rantavyöhykkeeseen muodostuu eroosiota ehkäisevää kasvillisuutta. Vuohtojärvessä, jossa rantavyöhyke on voimakkaasta säännöstelystä huolimatta stabiili, vesikasvit muodostavat eräissä lahdissa liian tiheitä kasvustoja. Virkistyskäyttömahdollisuuksien parantamiseksi niitä on jouduttu poistamaan (ks. Kiviniemi ym. 1986).

4.2 POHJAEELÄIMISTÖ JA AIKUISTEN KALOJEN RAVINTO

Järven säännöstely voi vaikuttaa pohjaelämistään seuraavien tekijöiden kautta:

- vedenkorkeuden nosto ja tähän liittyvä rannan pohja-aineiden kulumis-, kulkeutumis- ja kasaantumisprosessien kiihtyminen
- rantavyöhykkeen jäätyminen tai kuivuminen talvella, keväällä ennen vedenkorkeuden nousua ja kesällä
- edellämainituista tekijöistä johtuvat muutokset vesikasvillisuudessa.

Orgaanisen aineksen vähyys ja pohjan kovettuminen sekä prosessien kiihtyminen matalan veden alueella vähentävät pohjaeläinten määrää. Kalojen ravinnoksi hyvin sopivat suurikokoiset ja helposti havaittavat lajit vähenevät pienikokoisten ja kaivautuvien lajien kustannuksella. Eläimistöä karsiutuu eniten hiekkarannoilla. Kivikkosilla ja suojaisilla rannoilla eläimet selviytyvät paremmin. Hiekkapohjilla hakeutuminen edullisiin pienhabitaatteihin säännöstelyvyöhykkeen alueella ei ole juuri mahdollista.

Kasvillisuusvyöhykkeet tarjoavat habitaatin, jossa pohjaeläimistö esiintyy paikoin tiheässä ja eläimistön esiintyminen on vakaata. Tällaiset kohteet ovat edullisia kalojen ravinnonotolle. Rantamatalan epästabiilisuudesta johtuva ilmaversoiskasvillisuuden vähyys ja pohjan jäätymisestä johtuva lahnaruohokasvillisuuden poistuminen tai harveneminen vaikuttavat epäedullisesti pohjaeläimistöön.

Kalojen ravintona tärkeiden eläinryhmien vähetessä ravinnonotto kohdistuu energeettisesti epäedullisiin pienikokoisiin lajeihin. Pohjaeläinravinnon vähentyessä saattavat kyseeseen tulla vaihtoehtoiset ravintolähteet, ilma- ja planktonravinto.

4.3 KALOJEN MÄDIN JA POIKASTEN SELVIYTYMINEN

Syyskutuisten kalojen mädin ja poikasten selviytymiseen säännöstellessä järvestä voivat vaikuttaa:

- jäätyvän pohjan ja laskeutuvan jään mätää tuhoava vaikutus
- syntyvän vuosiluokan sisäinen ravintokilpailu pikku-poikasvaiheessa
- keväällä vedenkorkeuden nousun nopeus ja taso, johon vesi kevättulvan aikana nousee.

Järvikutuinen siika kutee yleensä matalampaan veteen kuin muikku, joten siian mädin tuhoutumisalttius talvella on suurempi kuin muikun mädin. Kuoriuduttuaan muikun ja siian poikaset oleskelevat ranta-alueilla ja käyttävät osittain samanlaista ravintoa.

Nykyisen käsityksen mukaan muikun kannanvaihteluiden taustalla on pääasiassa vuosiluokan sisäinen ravintokilpailu poikasvaiheessa. Kuoriutuva poikasmäärä ylittää ympäristön kantokyvyn, mikä johtaa poikasten nälkiintymiseen ja kuolemaan. Säännöstely pienentää kuoriutuvaa poikasmäärää tuhoamalla mätää, mutta vastaavasti alentaa poikasalueiden kantokykyä. Tämän vuoksi säännöstely ei näytä vaikuttavan kannanvaihteluun. Säännöstelyn haitat tulevat esille vasta kalastusta tehostettaessa (Salojärvi ym. 1981), jolloin kuoriutuvien poikasten määrä jää mädin tuhoutumisen seurauksena vähäisemmäksi kuin ympäristön kantokyky.

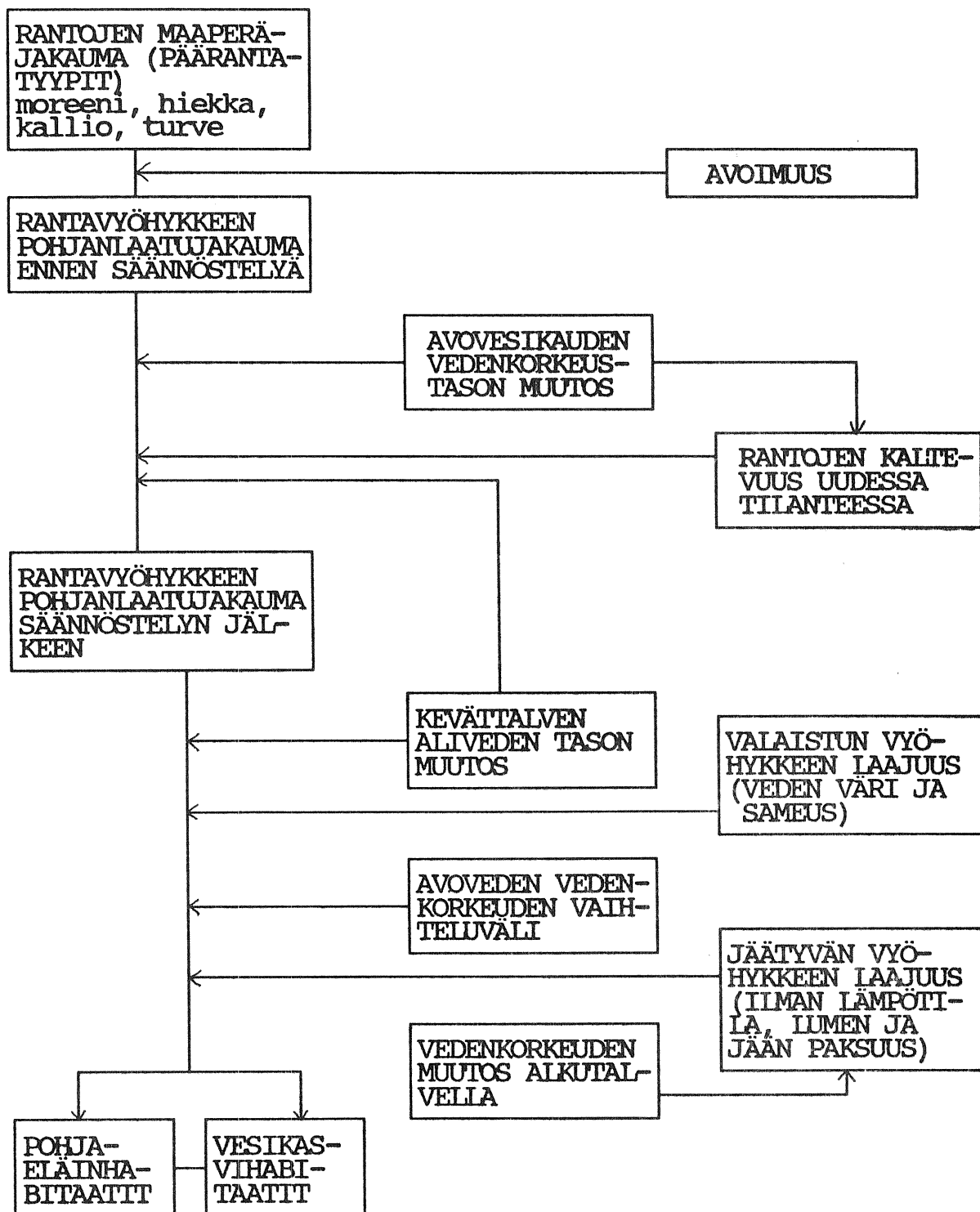
Kalanpoikasten ravintotilanteeseen keväällä vaikuttaa kevättulvan nousunopeus ja -korkeus. Tulvan nousu rantakasvillisuuteen saakka lisää poikasten ravintovaroja. Säännöstelyn vaikutuksesta kevättulvan taso alenee. Toisaalta voimakkaasti säännöstellyssä järvestä veden raja siirtyy loivilla rannoilla tulvan nousuvaiheessa niin pitkän matkan, että kuoriutuvat kalanpoikaset eivät ilmesty matalaan veteen. Muutosten nettovaikutus ikäluokan suuruuteen riippuu siitä, missä rajoissa kuoriutuvien poikasten määrä vaihtelee.

Kevättulvan jälkeen muikun ja siian poikaset siirtyvät ulapalle ja säännöstelyyn liittyvillä rantavyöhykkeen muutoksilla ei niihin enää ole vaikutusta, lukuunottamatta siikojen myöhempää vaihetta, jolloin ne siirtyvät käyttämään pohjaeläinravintoa.

Rantavyöhykkeellä tapahtuvien muutosten vaikutuksesta kevätkutuisten kalojen mädin ja poikasten selviytymiseen on vain vähän tietoa. Kasvillisuudessa tapahtuneet muutokset eivät välttämättä muodosta ratkaisevan suurta haittaa kudun onnistumiselle.

4.4 SÄÄNNÖSTELYN VAIKUTUSTEN MALLINTAMINEN

Järven säännöstelyn biologiset vaikutukset viime kädessä kalakantoihin saakka pohjautuvat rantavyöhykkeessä tapahtuviin muutoksiin. Järven rantavyöhykkeelle on ominaista monimuotoisuus ja mosaiikkimaisuus. Tutkimustulosten hajonta-arvot muodostuvat suuriksi, ja luotettavan toiminnallisen kuvan saaminen rantaekosysteemeistä on vaikeaa. Ongelmaa voidaan lieventää jakamalla rantaluokitus erilaisiin tyyppisiin ja edelleen toiminnallisiin kokonaisuuksiin, habitaatteihin. Kun tutkimukset tehdään habitaattikohtaisesti ja erilaisten habitaattien pinta-alat koko järvestä tunnetaan, voidaan saada kattava näkemys rantavyöhykkeessä tapahtuvien muutosten merkityksestä koko järven toimintaan (kuva 2).

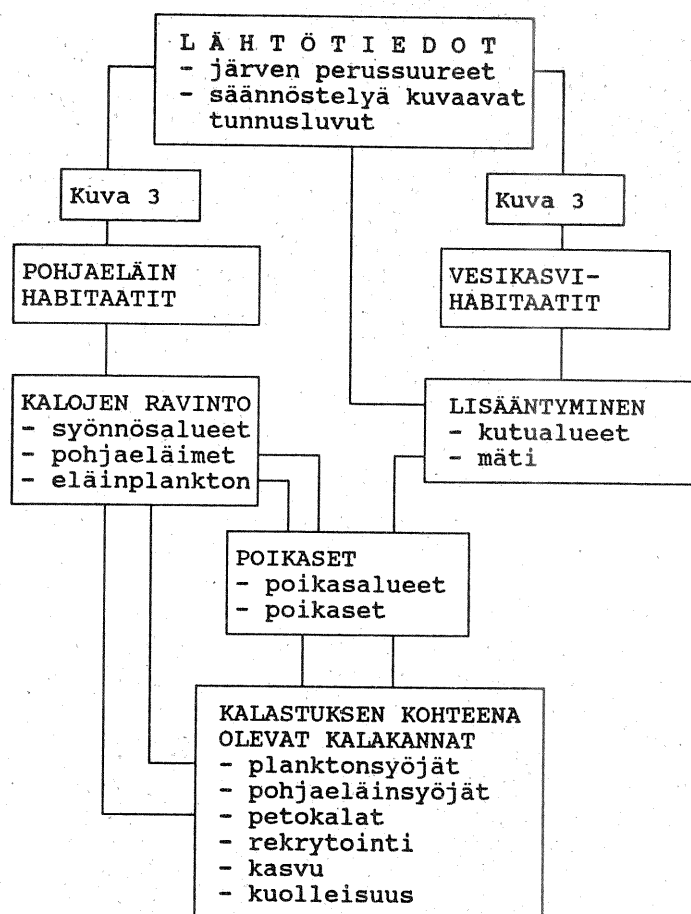
**HABITAATTIEN
MUOOSTUMINEN**
**SÄÄNNÖSTELYN
LIITTYVÄT
OHJAUSFUNKTIOT**
**MUUT OHJAUS-
FUNKTIOT**


Kuva 2. Säätöstellyn järven rantavyöhykkeen pohjan laatua sekä erilaisten pohjaeläin- ja vesikasvihakitaattien pinta-aloja kuvaavan mallin rakenne. Tietäntyyppisillä hakitaateilla on samassa järvessä tai samantyyppisissä järvissä vesikasvillisuudessa ja pohjaeläimistössä yhteisiä piirteitä. Tältä pohjalta on mahdollisuus ennustaa sääntöstellyn biologisia vaikutuksia koko järven rantavyöhykkeessä.

Habitaattien muodostumisessa tärkeitä tekijöitä ovat

- pohjan laatu, orgaanisen ja minerogeenisen aineksen määrä sekä raekoko (vaikuttavina tekijöinä alueen maaperän perusmateriaali ja avoimuus)
- ulkoisten tekijöiden aiheuttamat vyöhykkeet (valoa saava vyöhyke, jäätyvä vyöhyke, jäänlaskeumavyöhyke, avovesikauden vedenkorkeuden vaihtelun johdosta ajoittain kuivuva vyöhyke).

Pohjanlaatuajakautumaa varten kehitettiin tämän työn yhteydessä arviointimenetelmää. Jäätyvän rantavyöhykkeen laajuus on laskennallisesti arvioitavissa. Muut tarvittavat tiedot saadaan vedenlaaturekisteristä ja säännöstelyä kuvaavista tunnusluvuista. Periaatteessa on mahdollisuus kartta- ja ilmakuvatulkinnasta saatavien lähtötietojen pohjalta arvioida säännöstelyn vaikutuksia habitaattityyppien pinta-aloihin. Tämän pohjalta on edelleen mahdollisuus arvioida muutoksia vesikasvillisuudessa ja pohjaeläimistössä. Tämä tieto antaa tärkeän lähtökohdan kalakantamallin soveltamiselle (kuva 3). Tällaisen sovellutuksen avulla voidaan arvioida eri tekijöiden merkitystä kalakantojen koostumukseen.



Kuva 3. Järven säännöstelyn vaikutus kalakantoihin.

5 EKOLOGINEN SÄÄNNÖSTELYKÄYTÄNTÖ

Säännöstelykäytäntöä suunniteltaessa ei tavoitetasoa ole välttämättä vedettävä luonnontilaan. Ekologiseen tietoon pohjautuen voitaisiin optimoida myös järven biologista tuotantoa. Näin tulisivat huomioitua järviympäristöön liittyvät esteettiset tekijät ja kalatalous sekä näiden kehittämismahdollisuudet. Ennenkuin tällaiseen suunnitteluun päästään, on tietoa järvien ekologisista vuorovaikutussuhteista lisättävä.

Pohjois-Suomen ilmastollisissa ja geologisissa oloissa järven ekologisen tasapainon säilyttämiseksi on tärkeää, että

- järven vedenpintaa avovesikautena ei nosteta niin paljon luonnontilaista ylemmäksi, että muutos käynnistää voimakkaita geomorfologisia prosesseja rantavyöhykkeellä
- järven vedenpintaa ei lasketa alkutalvella niin, että pääosa kesällä valoa saavasta pohjavyöhykkeestä jäätyy.

Taso, johon vedenkorkeus avovesikautena voidaan nostaa, on määritettävissä. Eräissä Pohjois-Suomen säännöstelyjärviissä tämä on ylitetty ja vaikutukset näkyvät rantojen maisemakuvassa ja myös rantojen vedenalaisissa eloyhteisöissä. Kiihtyneet geomorfologiset prosessit muotoilevat rantaa vähitellen uutta tasoa vastaavaan tilaan. Tähän liittyvä geomorfologinen muutossarja säätelee rannan ekologista mukautumista uuteen tilanteeseen. Mukautumista voidaan nopeuttaa toimenpiteillä, jotka edistävät rantoja stabiloivan vesikasvillisuuden muodostamista.

Vedenpinnan korkeustason ohella olisi tärkeää, että siinä ei avoveden aikana tapahtuisi suuria muutoksia. Tämä vähentää rantaprosesseja ja tasapainottaa matalan veden eloyhteisöjä. Erityisen suuria muutoksia rantavyöhykkeessä tapahtuu, kun vesi on korkealla kovien tuulien aikana (syksy).

Pohjan jäätyminen rantavyöhykkeessä on suurempi ekologinen häiriötekijä kuin jään lepääminen sulan pohjan päällä. Jäätyvän vyöhykkeen alarajaan on mahdollisuus vaikuttaa. Tällä on suurempi vaikutus kuin kevään aliveden tasolla. Kuta ruskeavetisempi järvi on, sitä vahingollisempaa on se, että pohja jäätyy syvälle. Veden kirkkauden ja ilmasto-olojen pohjalta voidaan määrittää vedenkorkeudelle alkutalven ajaksi tavoitetaso, joka on ylempänä kuin kesäaikana valoa saavan vyöhykkeen alaraja. Tällöin pohjan jäätyminen liian syvälle estetään.

Kevään aliveden tavoitetasona voidaan pitää korkeutta, joka turvaa vedenkorkeuden välittömän nousun kesäveden tasolle tai mieluummin hetkellisesti vähän sen yläpuolelle. Kasvillisuuden kehittymisen ja rantojen kulumisen

kannalta olisi edullista, että vedenkorkeus hitaasti kesäaikana laskisi eikä syksyllä nousisi niin korkealle kuin keväällä.

Edellä kuvattu vedenkorkeuden tavoitetasojen tarkastelu jää puutteelliseksi, koska vaikuttavien tekijöiden kvantifiointia ei vielä ole voitu tehdä riittävän pitkälle. Tämä edellyttää numeeristen menetelmien kehittämistä ja soveltamista. Monimuotoisuudesta huolimatta rantaekosysteemien toiminta voitaneen varsin pitkälle hallita. Näissä tapahtuvien muutosten yhteys ulappa-ekosysteemeihin ja viime kädessä kalakantoihin muodostaa haasteellisen tutkimuskentän. Myös tälle alueelle on tutkijoiden rohkeasti pureuduttava.

Vesi- ja ympäristöhallitus on käynnistänyt tutkimusprojektin, jossa kehitetään kalakantamallia säännöstelyn vaikutusten erittelemiseksi. Numeeristen mallien avulla voidaan eri tekijöiden merkitystä eritellä ja kvantifioida. Tämä antaa pohjaa toteutettujen säännöstelyjen vahinkoarvioihin ja säännöstelyn muuttamien vaikutusten ennakointiin. Samalla voidaan ekologiseen tarkasteluun liittää hydrologisten, teknisten ja taloudellisten edellytysten arviointi.

K I R J A L L I S U U S

ECOREGU-projektin loppuraportti:

Alasaarela, E., Hellsten, S., Huusko, A. ja Tikkanen, P. 1988: Ekologiset näkökohdat eräiden Pohjois-Suomen järvien säännöstelyssä. Projektin esittely ja yleistutkimukset. 52 s. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, rakennuslaboratorio.

Hellsten, S. & Tikkanen, P. 1988: Säännöstelyn vaikutus järven rantojen rakenteeseen ja eliöstöön. Vesihallituksen monistesarja 80.

Hellsten, S., Neuvonen, I., Alasaarela, E., Keränen, R., ja Nykänen, M. 1988: Säännöstelyn vaikutus rannan geomorfologiaan ja vesikasvillisuuteen. 133 s. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, rakennuslaboratorio.

Tikkanen, P., Kantola, L., Niva, T., Hellsten, S. ja Alasaarela, E. 1988: Säännöstelyn vaikutus järven pohjaeläimistöön ja aikuisten kalojen ravintoon. 95 s. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, rakennuslaboratorio.

Huusko, A., Sutela, T., Karjalainen, J., Hellsten, S., ja Hirvonen, A. 1988: Säännöstelyn vaikutus kalojen mädin ja poikasten selviytymiseen. 85 s. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, rakennuslaboratorio.

Alasaarela, E., Hellsten, S., Huusko, A., ja Tikkanen, P. 1988: Järvissäännöstelyn ekologiset vaikutukset ja niiden huomioon ottaminen säännöstelykäytäntöä tarkistettaessa. 38 s. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, rakennuslaboratorio.

Muut viitteet:

Hellsten S. 1983: Järvissäännöstelyn vesistövaikutukset. - Vesihallituksen monistesarja 188. 72ss.

Hellsten S. & Alasaarela E. 1984: Ekologisten näkökohtien huomioon ottaminen Pohjois-Suomen vesistöjen säännöstelyssä. Esitutkimus. - VTT Rakennuslaboratorio 85 s. + 11 liitt.

Frisk T., Salojärvi K. & Virtanen M. 1987: Modelling the impacts of lake regulation on whitefish stocks. - Presentation in International Symposium on Biology and Management of Coregonids, Joensuu, Finland. - Finnish Fish. Res. (in press).

Hecky R.E. 1984: Thermal and optical characteristics of Southern Indian Lake before, during, and after impoundment and Churchill River diversion. - Can. J. Fish. Aquat. Sci. 41:559-590.

Kuusisto E. 1988: Säännöstelyn vaikutus vesistön hydrologiaan. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja. Helsinki.

Kiviniemi M., Lakso E. ja Alasaarela E. 1986: Toimenpide- ehdotukset Vuohojärven tilan parantamiseksi. Reisjärven kunta, Kokkolan vesipiirin vesitoimisto ja Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Reisjärvi.

Kinnunen A. 1983: Vesivoiman rakentamisen kalataloudelliset vaikutukset ja niiden kompensointi. - Suomen voimalaitosyhdistys ry. Helsinki. 119 ss.

Roy D., Laperle M., Boudreault J., Boucher R., Schetagne R. & Thérien N. 1986: Ecological monitoring program of the La Grande Complex 1978-1984. Summary report. - Direction Ingénierie et Environnement, Société d'énergie de la Baie James, Montréal. 62 s.

Salojärvi K., Auvinen H., Ikonen E. 1981: Oulujärven vesistön kalatalouden hoitosuunnitelma. - Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Kalantutkimusosasto. Monistettuja julkaisuja 1, 1-227.

Tom Frisk

SÄÄNNÖSTELYN KALATALOUDELLISTEN VAIKUTUSTEN KUVAAMINEN MATEMAATTISEN MALLIN AVULLA

1. YLEISTÄ

Limnologisessa tutkimuksessa vallitseva traditio on pääasiassa deskriptiivinen, kuvaileva. Käytännön ongelmat ovat kuitenkin luonteeltaan useimmiten kvantitatiivisia: ei riitä se, että tunnetaan vaikutuksen suunta, vaan myös vaikutusten suuruus on tunnettava. Jätevesien vaikutusten kvantitatiiviseksi kuvaamiseksi on Suomessa jo toistakymmentä vuotta käytetty matemaattisia malleja. Varsinkin virtausmallien yhdistäminen vedenlaatumalleihin on osoittautunut hedelmälliseksi jätevesien vedenlaatuvaikutusten tarkkojen kuvausten laadinnassa (esim. Virtanen ym. 1986). Muiden vesistöjä muuttavien toimintojen kuvaamisessa tilanne ei sen sijaan ole alkuunkaan yhtä hyvä. Kun esimerkiksi säännöstelyn vaikutuksia on jouduttu arvioimaan katselmustoimituksissa, vaikutusarvioita voidaan useimmiten luonnehtia lähinnä arvauksiksi tai "hihastavedoiksi" (vrt. Turpeinen 1985). Jopa niinkin virheellisen lähtökohdan soveltamista, että kalansaaliin väheneminen on suorassa suhteessa kutualueiden pienenemiseen, on pidetty nykyisissä oloissa kohtalaisen kehittyneenä arviointitapana.

Vesihallituksessa (1.10.1986 lähtien vesi- ja ympäristöhallitus) käynnistettiin vuonna 1984 suunnitteluprojekti "säännöstelyjen vaikutusten ja muutostarpeiden selvittäminen". Projektissa todettiin em. metodologiset heikkoudet ja päätettiin ryhtyä selvittämään mahdollisuuksia kehittää parempia menetelmiä järvien säännöstelyjen kalataloudellisten vaikutusten kvantitatiiviseksi arvioimiseksi ja ennustamiseksi. Tavoitteeksi valittiin sellaisen systeemimallin kehittäminen, jolla voitaisiin arvioida erityisesti niiden järvien säännöstelystä johtuvat vaikutukset, joissa valtio on luvanhaltijana. Taustalla on myös vahvasti tarve arvioida, miten mahdollinen säännöstelykäytännön muuttaminen tulisi vaikuttamaan kalakantoihin. Kehitettävää mallia on tarkoitettu käyttäjä paitsi säännöstelyn muuttamisen vaikutusten ennakoarvioiden laadinnassa myös jo toteutettujen säännöstelyjen vahinkoarvioiden laadinnassa.

2. TYÖN ORGANISOINTI

Systeemimallin kehittämisestä vastaavana yksikkönä on vesi- ja ympäristöhallituksen vesistöosaston vesistötoimisto. Kysymyksessä on suuressa määrin kalataloudellinen tutkimus, joten luonnollinen yhteistyökumppani on alasta vastaava valtion tutkimuslaitos Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Vesien- ja ympäristöntutkimuslaitokselle ei kalataloudellinen tutkimus kuulu, mutta yhteistyö on käytännössä hoidettu siten, että mallin

kehittämistä ohjaavassa ja seuraavassa epävirallisessa työryhmässä on ollut mukana myös vesien- ja ympäristön-tutkimuslaitoksen asiantuntijoita.

Tutkimuksessa tarvittava asiantuntemus on Suomen olois-sa erittäin vaikeasti löydettävissä. Mallin kehittämi-sestä sekä systeemis suunnittelun että ohjelmoinnin osal-ta vastaavaksi konsultiksi vesi- ja ympäristöhallitus palkkasi Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen reaktio-rilaboratorion, jolla on pitkälinen kokemus virtaus- ja vedenlaatumallien kehittämisen ja soveltamisen alal-la. Päättäjänä Valtion teknillisessä tutkimuskeskuk-sessa toimii TkL Markku Virtanen. Vesi- ja ympäristö-hallituksen vesistötoimistossa työn vastuuhenkilönä toimii tämän artikkelin kirjoittaja ja Riista- ja kala-talouden tutkimuslaitoksen yhdyshenkilönä tutkija Kalervo Salojärvi.

Työn toteuttamiseksi tehdään varsinaisen mallin kehit-tämisen ohella myös erillisselvityksiä niistä aiheista, joka tunnetaan puutteellisesti. Erillisselvitysten laa-timiseen on osallistunut tutkijoita Riista- ja kalata-louden tutkimuslaitoksesta sekä yliopistoista.

3. MALLIN RAKENTEESTA JA KÄYTTÖ - MAHDOLLISUUKSISTA

Mallin rakenteesta on esitetty alustavia kuvauksia (Frisk ym. 1988, Virtanen 1988). Tässä yhteydessä ei kuitenkaan esitetä yksityiskohtaista kuvausta mallin tämänhetkisen version yhtälöistä. Kyseessä on kaiken-kaikkiaan erityyppisiin säännöstelytapauksiin tarkoite-tun mallin kehittäminen, ja yhtälöt tulevat vielä monilta osin muuttumaan. Malli perustuu siihen että pyritään kuvaamaan säännöstelyn vaikutuksia ensinnäkin kalojen lisääntymisalueisiin, toiseksi kalojen ravinto-eläimiin ja kolmanneksi veden laatuun. Vedenlaatuvaiku-tusten huomioonottamista ei toistaiseksi ole tehty, vaikkakaan se ei muodosta periaatteellista ongelmaa mallin kehittämisessä.

Lähtökohdaksi valittiin populaatioanalyysi ja monilaji-tarkastelu. Vaikka lähtökohtaa voidaan pitää jopa kala-taloustieteellisessä mielessä erittäin kunnianhimoisena, on kuitenkin todettava, että ilman eri kalalajien välisen vuorovaikutuksen huomioonottamista tuskin pit-källä tähtäyksellä voidaan saavuttaa säännöstelyn vai-kutuksen täsmällistä kuvaamista.

Ensimmäiseksi soveltamisen kohdealueeksi valittiin Oulujärvi lähinnä siksi, että Oulujärveltä on kerätty mallin kehittämisen kannalta tarpeellista aineistoa jo pitemmän aikaa. Virtasen (1988) dokumentoimassa sovel-lutuksessa on mukana kaksi eri siikamuotoa, mutta mallia on tarkoitus täydentää ottamalla mukaan myös muita la-jeja. Sovellutuksen laadinnan yhteydessä on käynyt ilmi se, että tämäläisyydestä mallista tulee väkisin

erittäin monimutkainen konstruktio, jonka hallitseminen onnistuu vain muutamilta asiaan perehtyneiltä tutkijoilta. Mahdollisia kehityslinjoja on se, että tunnustetaan asioiden vaikeus ja osoitetaan säännöstelyjen vaikutusten selvitystoiminnalle riittävät resurssit, tai se, että nyt tehtävän kehittäelytoiminnan tuloksiin pohjautuen pyritään myöhemmin kehittämään yksinkertaisempia ja helppokäyttöisempiä, mutta vähemmän informaatiota tuottavia malleja säännöstelyjen vaikutusten arvioimiseksi.

Lähdettäessä arvioimaan mallin kehittämisen onnistumismahdollisuuksia lienee tarpeellista tarkastella tärkeimpien osaprosessien tuntemuksen tilaa. Säännöstelyn suorasta vaikutuksesta kalojen ravintoeläimiin tehtiin erillisselvitys (Palomäki 1986), jonka antina voidaan pitää ns. habitaattiajattelua. Habitaatilla tarkoitetaan tässä eliöiden tietynlaista elinympäristöä tietyn tyyppisen ekosysteemin sisässä. Rantaa ei siis käsitellä yhtenä kokonaisuutena, vaan se jaetaan habitaatteihin. Säännöstelyjen vaikutuksesta pohjaeläimiin on myös kehitetty matemaattinen malli RAPELMA (Dahlbo 1985), joka kuitenkin odottaa vielä testaamista. Säännöstelyn suora vaikutus kalojen lisääntymismahdollisuuksiin on toinen kysymys, joka ansaitsee erityistä huomiota. Tarkasteltaessa tätä ilmiötä tulee ottaa huomioon paitsi säännöstelyn fysikaalinen vaikutus myös sen vaikutus rannan kasvillisuuteen. Tältä osin myös Valtion teknillisen tutkimuskesuksen rakennuslaboratorion ECOREGU-tutkimuksen tuloksia lienee mahdollista hyödyntää tässä projektissa.

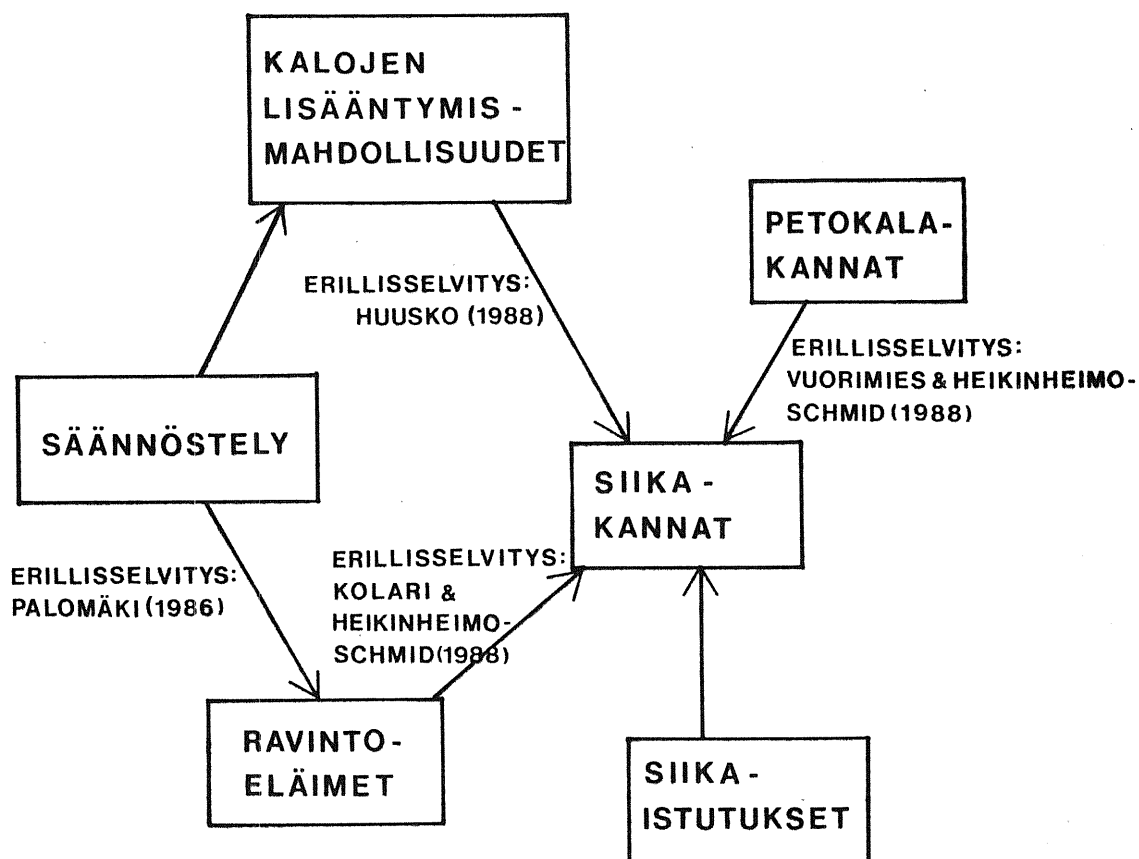
Tällä hetkellä on Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksessa tekeillä kolme erillisselvitystä, jotka palvelevat mallin kehittämistä: selvitys kalojen poikasvaiheista (Huusko 1988), selvitys siikojen ravinnonkäytöstä (Kolari ja Heikinheimo-Schmid 1988) ja selvitys petokalojen ravinnonkäytöstä (Vuorimies ja Heikinheimo-Schmid 1988). Kaksi viimeksi mainittua tehdään ns. Vuokalanjärvi-projektin yhteydessä.

Istutusten vaikutusta kalakantoihin, erityisesti siikakantoihin, tulisi myös tutkia erillisselvityksen avulla. Vesihallituksen vesistöosasto ja Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos anoivat maa- ja metsätalousministeriöltä yhteistyötutkimusmäärärahoja asian selvittämiseksi v. 1986, mutta ministeriössä ei tuolloin katsottu aiheelliseksi myöntää rahaa tutkimukseen.

Edellä esitellyt riippuvuussuhteet ja niihin liittyvät erillisselvitykset on esitelty kaavamaisesti kuvassa 1. Yksityiskohtaisempi kuvaus eri tekijöiden välisistä riippuvuuksista on esitetty Friskin ym. (1988) ja Virtasen (1988) julkaisuissa. On kuitenkin korostettava, että kyseessä on toistaiseksi vain Oulujärven sovellutuksen alustava kuvaus, jonka dokumentoinneista on mahdollista saada kuva lähinnä sovellettavan metodologian luonteesta. Yksityiskohtainen kritiikki valit-

tuja kuvaamistapoja kohtaan on tässä vaiheessa erittäin tervetullutta, sillä asian kehittelyyn tarvitaan kaikki kiinnostuneet tahot.

Oulujärven sovellutuksen jälkeen mallia on tarkoitus soveltaa Inariin, mahdollisesti Tampereen Pyhäjärveen ja Vanajaveteen sekä myös muihin säännöstelyihin järviin, joissa vesi- ja ympäristöhallitus on säännöstelyluvan haltijana. Projektiin osallistuvien henkilöiden käsityksen mukaan kehitettävällä mallilla on tulevaisuudessa mahdollisuus saada kiistanalaiset kysymykset säännöstelyn ekologista vaikutuksista nykyistä huomattavasti objektiivisempaan tarkasteluun.



Kuva 1. Projektin tähän mennessä tehtyjen tai käynnistettyjen erillisselvitysten liittyminen systeemiin.

4. K I R J A L L I S U U S V I I T T E E T

- Dahlbo, K., 1985. RAPELMA. Yksinkertainen dynaaminen malli rantavyöhykkeen pohjaeläinbiomassan simulointiin. Moniste (julkaisematon).
- Frisk, T., Salojärvi, K. & Virtanen, M. 1988. Modelling the impacts of lake regulation on whitefish stocks. Finnish Fisheries Research 9 (in press).
- Huusko, A. 1988. Kalojen poikasia koskeva erillisselvitys. Moniste, RKTL (valmisteilla).
- Kolari, I. & Heikinheimo-Schmid, O. 1988. Erillisselvitys siikojen ravinnonkäytöstä. Moniste, RKTL (valmisteilla).
- Palomäki, R. 1986: Säännöstelyn vaikutukset kalojen ravintoeläimiin. Moniste. RKTL. 25. p. Helsinki.
- Turpeinen, A. 1985. Vesilain mukaisista hankkeista aiheutuvien kalastusvahinkojen arviointi ja korvaaminen. Vesihallituksen monistesarja Nro 316. 159 p. Helsinki
- Virtanen, M., Koponen, J., Dahlbo, K. & Sarkkula, J. 1986. Three-dimensional water-quality-transport model compared with field observations. Ecological Modelling 31:185-199.
- Virtanen, M. 1988. Järvisäännöstelyn vaikutuksia kalakantoihin kuvaavan mallin ohjelmakuvaus. Moniste, VTT:n reaktorilaboratorio (julkaisematon)
- Vuorimies, O. & Heikinheimo-Schmid, O. 1988. Erillisselvitys petokalojen ravinnonkäytöstä. Moniste, RKTL (valmisteilla).

Dipl.ins. Jouko Mikola

ENERGIATALOUDELLISET NÄKÖKOHDAT JÄRVIER SÄÄNNÖSTELYSSÄ

1 JOHDANTO

Seuraavassa esityksessä kuvataan niitä energiataloudellisia tekijöitä ja käytännön rajoituksia joita järvien säännöstelyssä ja voimataloudellisessa käytössä tulee esille.

Vesistöjä voidaan yleisesti käyttää usealla eri tavalla, kuten kulkuväylinä, kalatalouteen, virkistyskäyttöön, voimatalouden tarpeisiin jne. Seuraavassa tarkastellaan pääasiassa vain voimataloudellisia näkökohtia.

Voimatalouden tarpeisiin vesistöä voidaan käyttää useammalla eri tavalla. Käyttötavan määrää useasti vesistön luonnonolosuhteiden mukaiset ominaisuudet. Jokivoimalaitosten voimantuotanto määräytyy keskeisesti jokien luonnollisten virtaamien mukaisesti. Vesistöissä olevat järvet ja keinotekoiset säännöstelyaltaat lisäävät säännöstelyn mahdollisuuksia. Pumppuvoimalaitokset ovat merkittävältä osalta keinotekoisia ratkaisuja. Tämän vuoksi pumppuvoimantuotanto on säädettävissä ensisijaisesti sähkön tarpeen mukaisesti.

Säädön ja säännöstelyn merkitys määräytyy

- yhtäältä säännöstelystä saatavan hyödyn (muihin säädön tuotannon vaihtoehtoihin verrattuna) ja
- toisaalta säännöstelystä aiheutuvien kustannusten ja haittojen perusteella

Vesistöjen käyttö - vaikka voimataloudellisiinkin tarpeisiin - on pääpiirteittäin luonnon mukaista eli voimantuotanto ei yleensä aiheuta kovinkaan suuria poikkeamia virtaamiin eikä pinnankorkeuksiin. Eräissä tapauksissa vaikutus virtaamiin ja pinnankorkeuksiin on kuitenkin suuri.

2 SÄHKÖN TARPEEN JA HANKINNAN KEHITTYMINEN

Sähkön käytön ja hankinnan yleisrakennetta on kuvattu sähkön kulutuksen rakenteen osalta kuvassa 1 sekä kulutuksen aikavaihtelun osalta kuvassa 2 ja kulutuksen kehitysnäkymiä kuvassa 3. Kuvista voidaan todeta, että kulutuksen osuudesta

- jalostus muodostaa selvästi yli 50 %
- yksityinen kulutus runsaat 20 % ja
- palvelu, julkinen sektori ja maatalous yhteensä noin runsaan 20 %.

Kulutuksen aikavaihtelulle on luonteenomaista

- arkipäivien päiväjaksojen suuret kulutushuiput
- yöjaksojen ja viikonloppujen alhaisemmat kulutukset
- toisaalta on paikallaan huomata, että alhaiset ulkolämpötilat kyllä lisäävät kulutusta, mutta tasoittavat huomattavasti päivä- ja yöaikojen kuormituseroja
- talvikauden suuret ja kesäkauden alhaiset kuormitukset.

Sähkön käytön kehityksessä tapahtuu vain verraten hitaita muutoksia kuten kuvassa 3 on esitetty.

Sähkön tuotannon rakennetta on kuvattu kuvissa 5 ja 6. Sähköenergian hankinnassa v. 1987

- vesivoiman osuus oli 24 %
- ydinvoiman osuus 33 %
- nettotuonnin 10 %
- teollisuuden vastapaineen 11,5 %
- kaukolämmitysvoiman 12 %
- tavanomaisen lauhdutusvoiman 9,5 %.

Hankinnan kehitysnäkymiin vaikuttavat sähkön tarpeiden kehittymisen lisäksi eri voimamuotojen kustannukset ja rakentamismahdollisuudet.

Hankinnan eräitä kehitysnäkymiä on kuvattu kuvissa 3 ja 6.

Vesivoiman osuus Suomen sähkön hankinnassa v. 1987 oli

- energiahankinnassa 24 % koko sähkön tarpeesta
- tehonhankinnassa 20 % koko tehontarpeesta

Sähkönhankinnan tuotannon säätöä hoidetaan vesivoiman lisäksi myös muilla keinoilla - lähinnä nopeasti säädettävällä lämpövoimalla ja tuonnilla. Tuotannon säädöllä peitetään lähinnä vuorokausi ja viikkovaihtelun tarpeet.

Lyhytaikaista häiriöreserviä hankitaan oman kapasiteetin lisäksi myös Ruotsista ostettavalla teholla, joka perustuu ensisijaisesti vesivoiman käyttöön.

3 VESIVOIMAN TUOTANNON LUONNE

Vesivoiman tuotanto on riippuvainen sähkön tarpeesta ja sen ajallisesta vaihtelusta sekä voimalaitoksen teknillisistä ja vesistön luonnonolosuhteiden mukaisista tuotantomahdollisuuksista.

On paikallaan huomata, ettei sähkön kulutus seuraa vesistöjen virtaamien luonnollista vaihtelua. Vesistöjen voimataloudellisen säännöstelyn tavoitteena onkin muuttaa juoksutuksia sähkön kulutuksen tarpeiden suuntaisiksi.

Talvella, suuren sähkön kulutuksen aikana, virtaamat ovat pienempiä - erityisesti pohjoisissa vesistöisissä. Tämän vuoksi ns. vuosisäännöstely on tullut keskeiseksi säännöstelymuodoksi. Tätä täydentää suurissa altaissa mahdollinen ylivuotinen varastointi kuivien vuosien varalta. Ollakseen tehokasta tämä edellyttää yleensä lähes koko vuoden tulovirtaaman mahtumista säännöstelyaltaisiin.

Vuorokausi- ja viikkosäätö ei varsinaisesti ole vesilain mukaista säännöstelyä. Lyhytaikainen säätömahdollisuus yhdessä vesivoimakoneiden teknillisten ominaisuuksien kanssa muodostaa vesivoiman käyttöön olennaisesti liittyvän tekijän, joka juuri tekee vesivoimasta monia muita hankintamuotoja edullisemman hankintatavan.

3.1 VESIVOIMAN KÄYTÖN LUONNE ERI AIKONA

Vesivoiman tuotannon keskeisenä tavoitteena on menneinä aikoina ollut energian riittävyys. Pääasiassa tämän vuoksi rakennettiin Kemijoen vesistöön suuret tekojärvet palvelemaan voimatalouden tarpeita vesivarastoina, joita voidaan käyttää mm. talven alhaisten virtaamien aikana ja toisaalta säästää vettä kuivien vuosien varalle.

Energiamitoidetussa järjestelmässä vesivoimakoneilla suoritettu tuotannonsäätö oli helposti hoidettavissa.

Sähkön tarpeiden kasvaessa ja vesivoiman osuuden pienentyessä on myös säätökapasiteetin hankintaan ja vesivoiman käyttöön ollut pakko kiinnittää huomiota.

Vesivoiman säädettävyyden hyväksikäyttöön vaikuttavat mm.:

- kustannusrakenteeltaan ja teknillisiltä ominaisuuksiltaan erilaista lämpövoimaa on otettu ja tullaan ottamaan käyttöön
- polttoaineiden hinnat ovat nousseet ja laskeneet verraten lyhyen ajan kuluessa voimakkaasti
- sähkön kulutuksen määrälliset vaihtelut tulevat vastaisuudessa entistä suuremmiksi, mutta suhteellisia vaihteluita on onnistuttu pienentämään mm. varaavan sähkölämmityksen avulla
- myös kulutuksen ohjaus kuormien tasaamiseksi on mahdollista.

3.2 VESIVOIMAN TULEVA KÄYTTÖTAPA

Lämpövoimalaitosten osuuden jatkuvasti kasvaessa ja sähkön kulutusvaihtelun potentiaalin yhä suurentuessa voidaan vesivoiman ominaisuudet sopeuttaa uuteen käyttötapaan.

- Vesivoiman käyttötapa on osittain jo muuttunut perusenergian tuotannosta huippu- ja säätöenergian tuotannoksi sekä lyhytaikaisen varatehon tuotannoksi.
- Ydinvoimalla on olemassa teknilliset edellytykset myös tuotannon- ja tehonsäädön suorittamiseen, mutta mm. ydinvoiman, muuhun

lämpövoimaan nähden, alhaisten polttoainekustannusten vuoksi ydinvoima toimii mahdollisimman pitkällä käyttöajalla.

- Muut perustuotantoon tarkoitettut lämpövoimalaitokset ovat yleensä hitaammin säädettävissä ja toisaalta niiden polttoainekustannukset ovat varsin korkeat.
- Lämpövoimalaitokset ovat vesivoimaan nähden myös huomattavasti häiriöalttiimpia, jonka vaikutus näkyy useimmiten juuri kuormanmuutosvaiheessa.

Tämän vuoksi sähkön laatuna näkyvät tehon, taajuuden ja jännitteen säädöt on parhaiten suoritettavissa säädettävällä vesivoimalla. Tämän rinnalla lämpövoimakin voi toimia parhaalla hyötysuhteellaan.

Tämä edellyttää, että vettä on varastoitu riittävästi tehokkaan viikko- ja vuorokausisäädön toteuttamiseksi. Vesivoiman käyttöä periaatteessa voitaisiinkin näistä syistä tehostaa

- rakentamalla lisää säännöstelyaltaita sekä
- suurentamalla jo rakennettujen vesivoimalaitosten konetehoa siellä, missä se suinkin on taloudellisesti perusteltua.

Vesivoimalla on menneinä vuosina ollut tärkeä merkitys perusvoiman tuottajana. Tulevaisuudessa vesivoimalla on olennainen merkitys koko sähköntuotannon käyttövarmuuden ja laadun parantajana.

Vesivoiman käytön tehostamisen etuina on lisäksi mainittava

- korkea kotimaisuusaste
- lämpövoimalaitoksiin verrattuna pitkä käyttöikä
- pienet käyttökustannukset ja
- päästöjen osalta ympäristöystävällisyys uusiutuvana luonnonvarana.

4 ENERGIATALOUS JA JÄRVIER SÄÄNNÖSTELY

Lähtökohtana voidaan pitää, että säännöstelyn toteutuksen synnyttämät kustannukset ja haitat ja toisaalta säännöstelystä syntyvät hyödyt tulisi olla tasapai-

nossa. Tämän tasapainon tunteminen ja saavuttaminen edellyttää, että siihen vaikuttavat tekijät ja niiden kustannukset tunnetaan. Säännöstelyllä saavutettavat edut on kohtuullisella tarkkuudella määritettävissä. Vaikeampi on määrittää tarkasti säännöstelystä syntyvät kustannukset ja erityisesti haittojen rahaksi arvioinnissa on vaikeuksia.

Säännöstelyn kokonaisvaikutus muodostuu luonnollisesti useista osatekijöistä, joiden kaikkien suhteen em. tapainen tarkastelu voidaan suorittaa. Näitä osatekijöitä ovat esim. järven alaraja, yläraja sekä näiden muutokset ja muutosnopeudet. Tämän lisäksi voi säännöstelyyn vaikuttaa juoksutuksen erityisehdot jne.

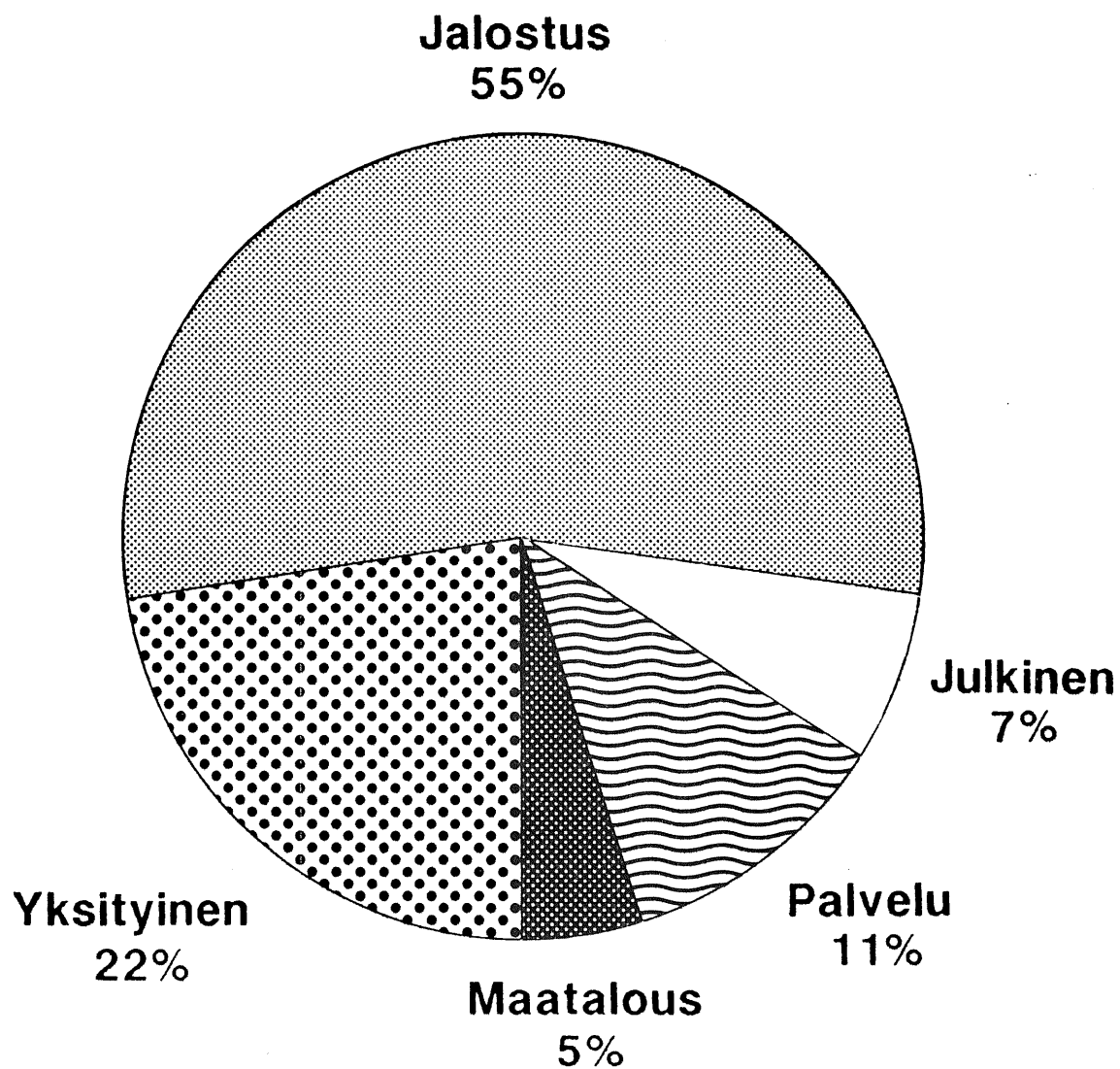
5 YHTEENVETO

Yhteenvetona, järvien säännöstelyn merkityksestä Suomen energiataloudelle, voidaan todeta, että

- voimantuotantomme tuleva rakenne edellyttää vesivoiman erinomaisen säädettävyyden ja käyttövarmuuden hyväksikäyttämistä
- tämä merkitsee vesivoiman käytön mahdollista tehostamista rakentamalla lisää - kylläkin rajoitetussa määrin - säännöstelyaltaita ja suurentamalla kannattavuuden puitteissa vesivoimalaitosten rakennettua konetehoa
- Suomella ei tulisi olla varaa jättää käyttämättä mahdollisuuksia lisätehon ja säännöstelyn aikaansaamiseksi taloudellisesti perustelluissa kohteissa ympäristön kustannukset ja haitat tietenkin huomioon ottaen.

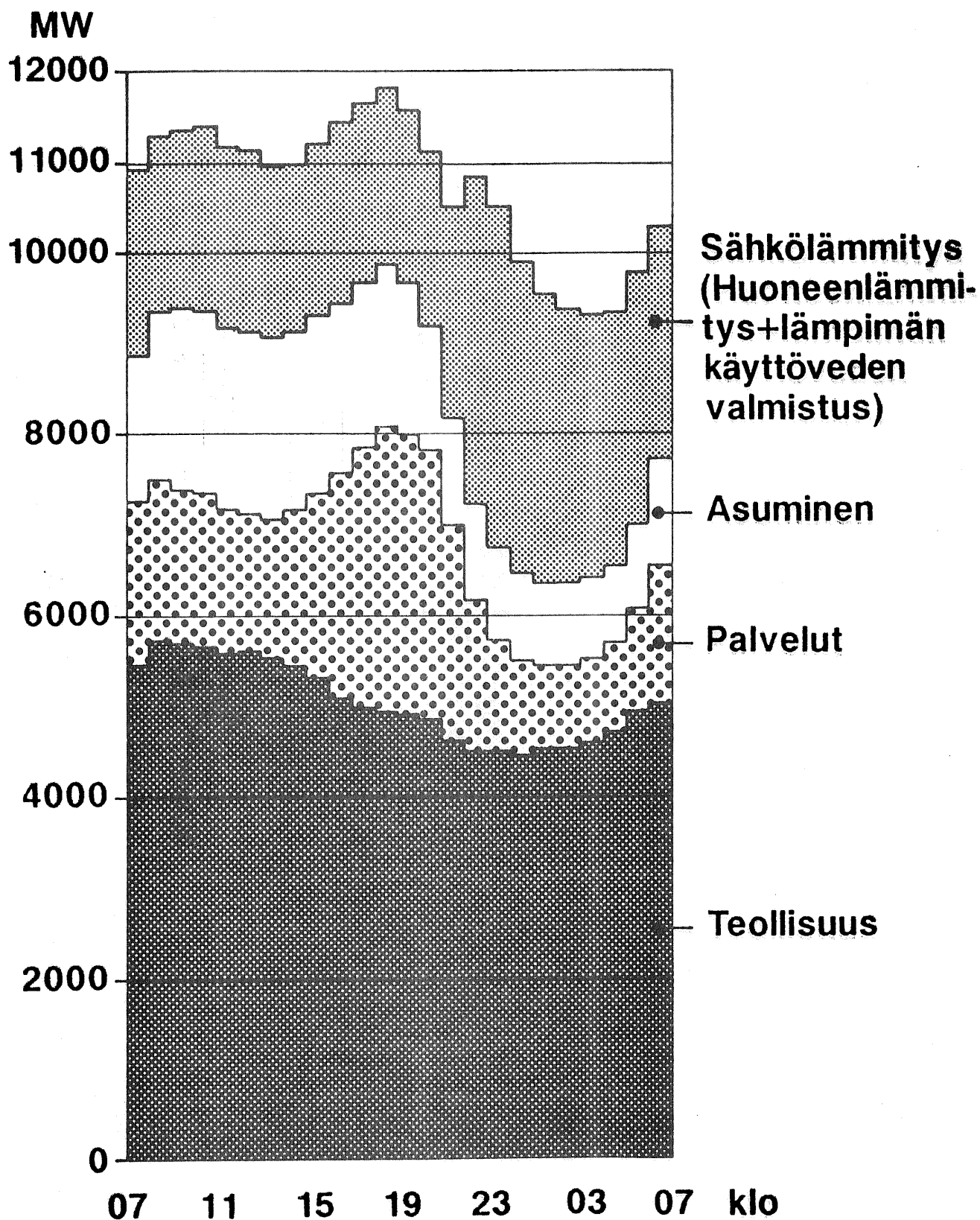
Vaikka tässä on säännöstelyä tarkasteltu vain voimatalouden kannalta on selvää, että niin järvien säännöstelyä suunniteltaessa kuin säännöstelyä toteutettaessakin tulee ottaa huomioon riittävässä määrin myös muut vesistön käyttöön vaikuttavat tekijät kokonaisuuden kannalta parhaan tuloksen saavuttamiseksi.

SÄHKÖN KULUTUS 1987 53,3 TWh



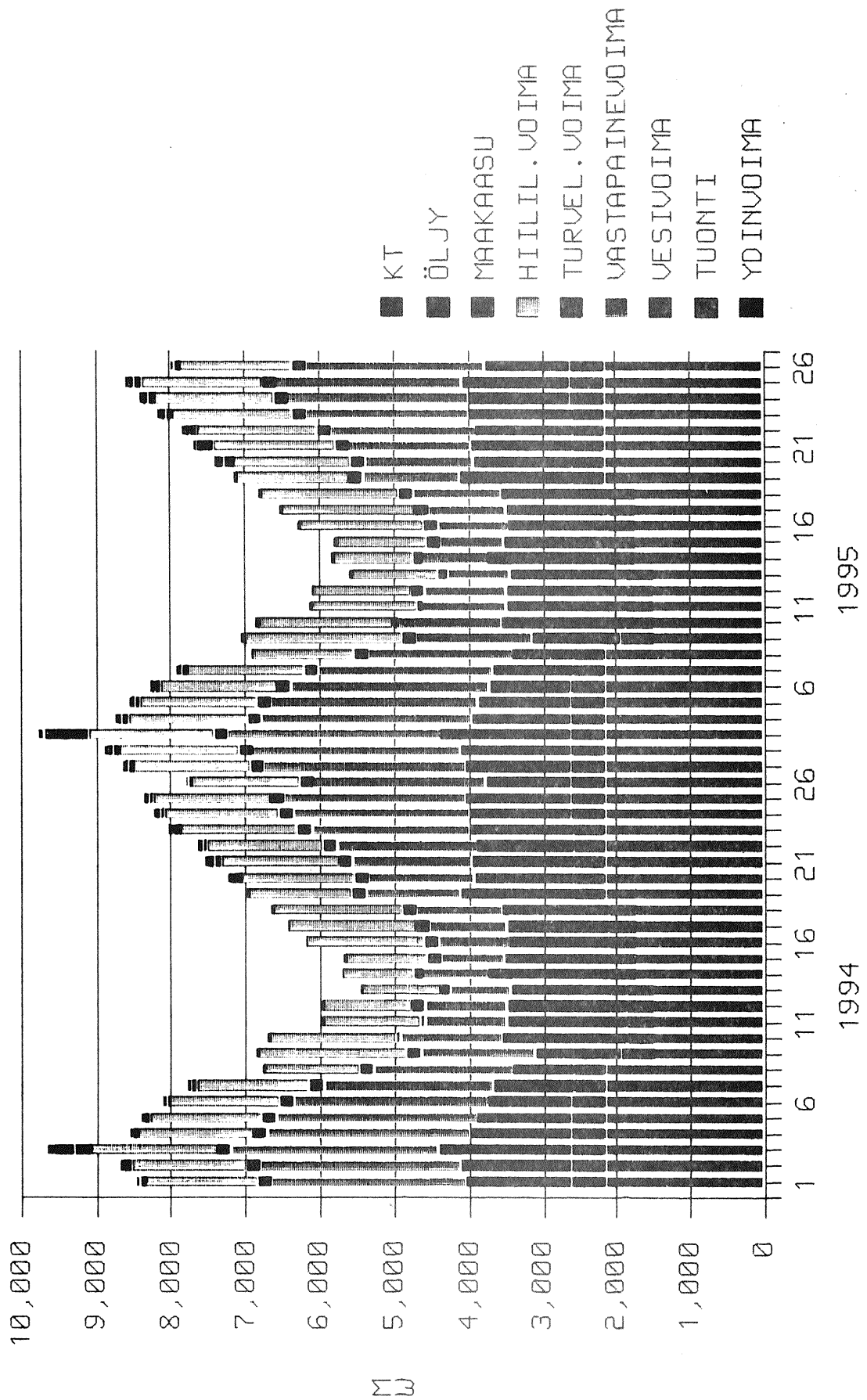
Kuva 1

SÄHKÖN KÄYTÖN VUOROKAUSIVAIHTELU HUIPPUKUORMITUSTILANTEESSA VUONNA 1995 STYV:N ARVION MUKAAN



Kuva 2

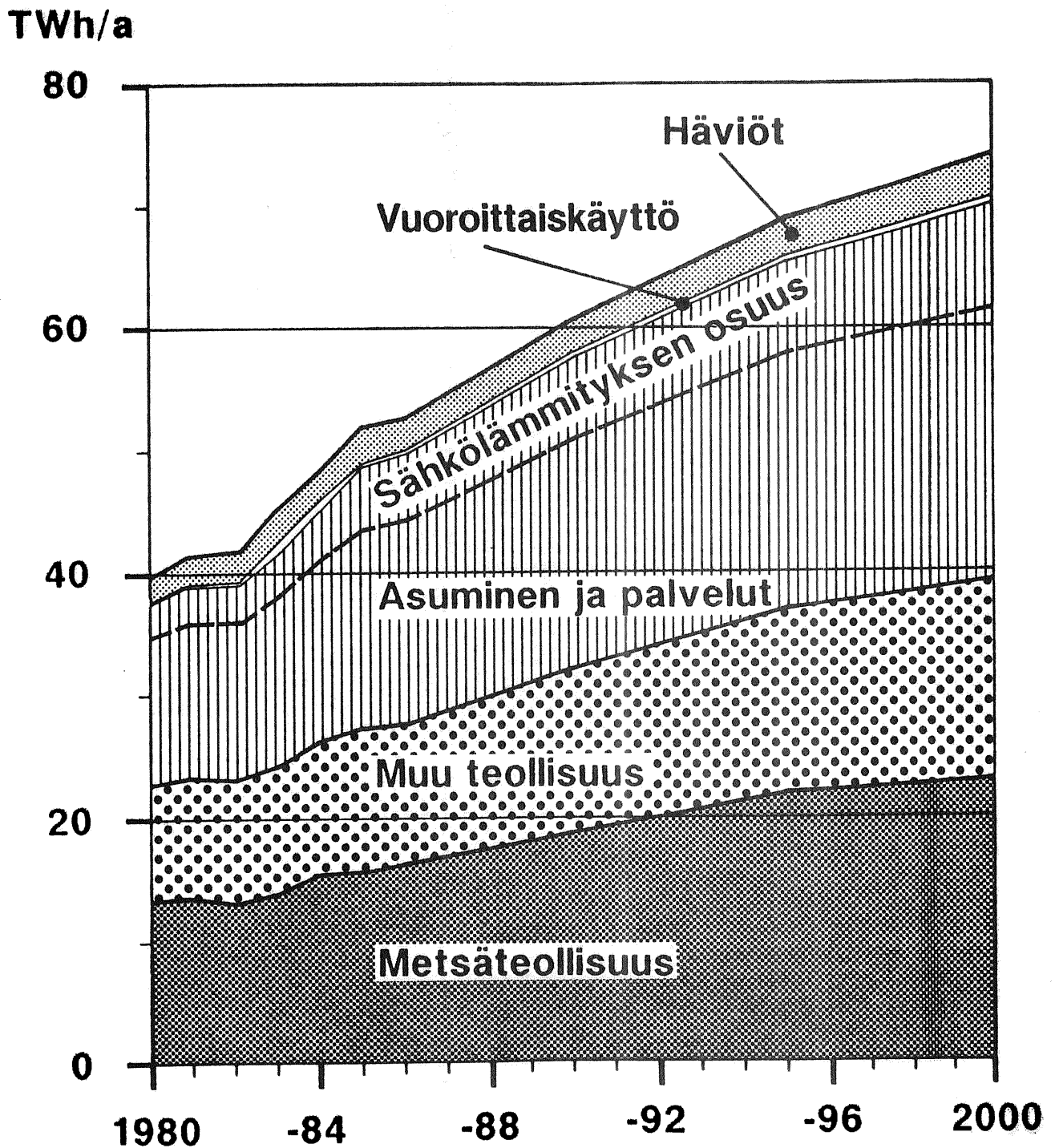
KOKO MAAN SÄHKÖN HANKINTA VUODET 1994-1995, NORMAALI VESIVUOSI



Kuva 3

SÄHKÖN KÄYTTÖ 1980 ... 2000

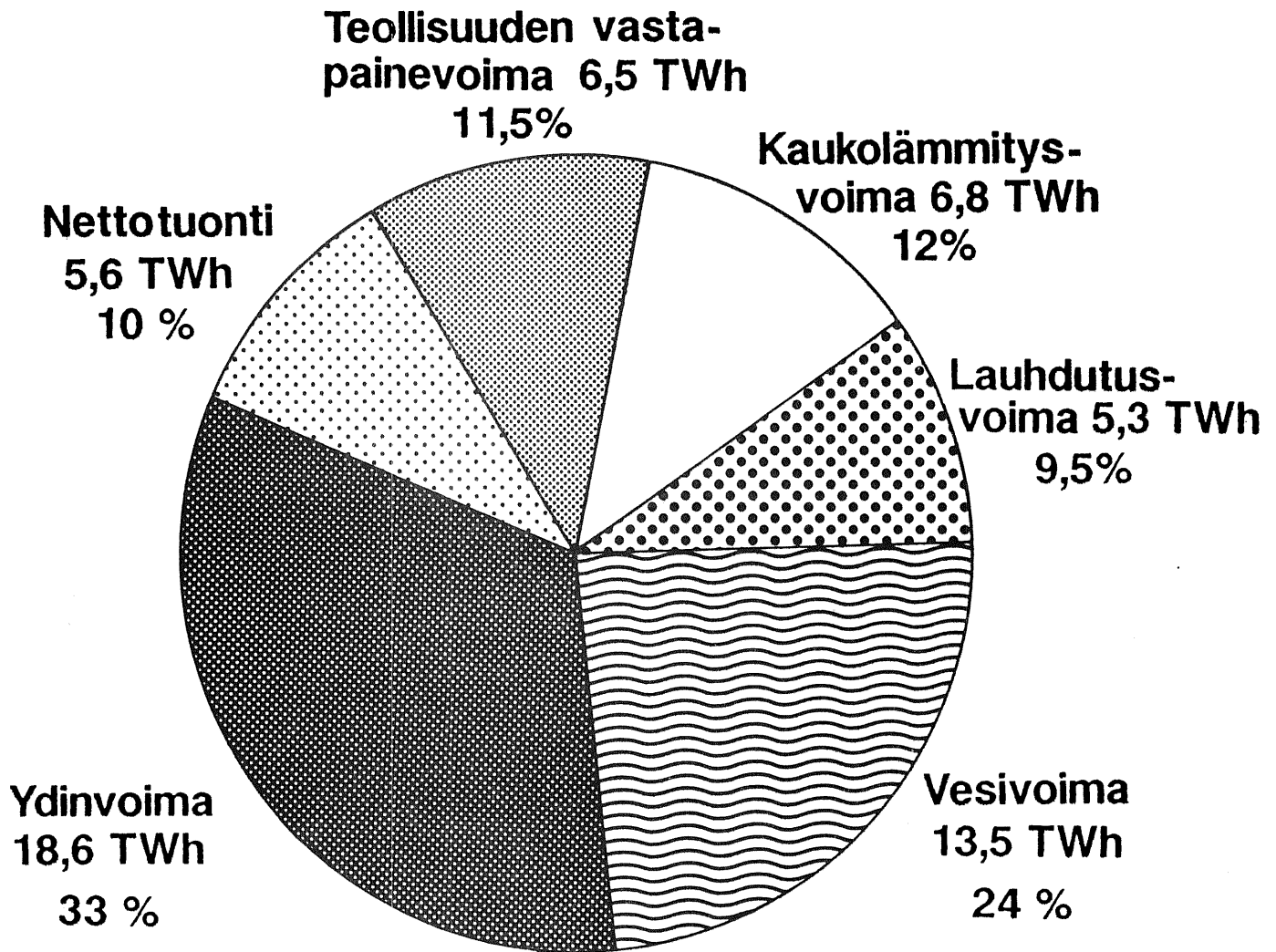
(STYV -87)



Kuva 4

SÄHKÖN HANKINTA SUOMESSA 1987

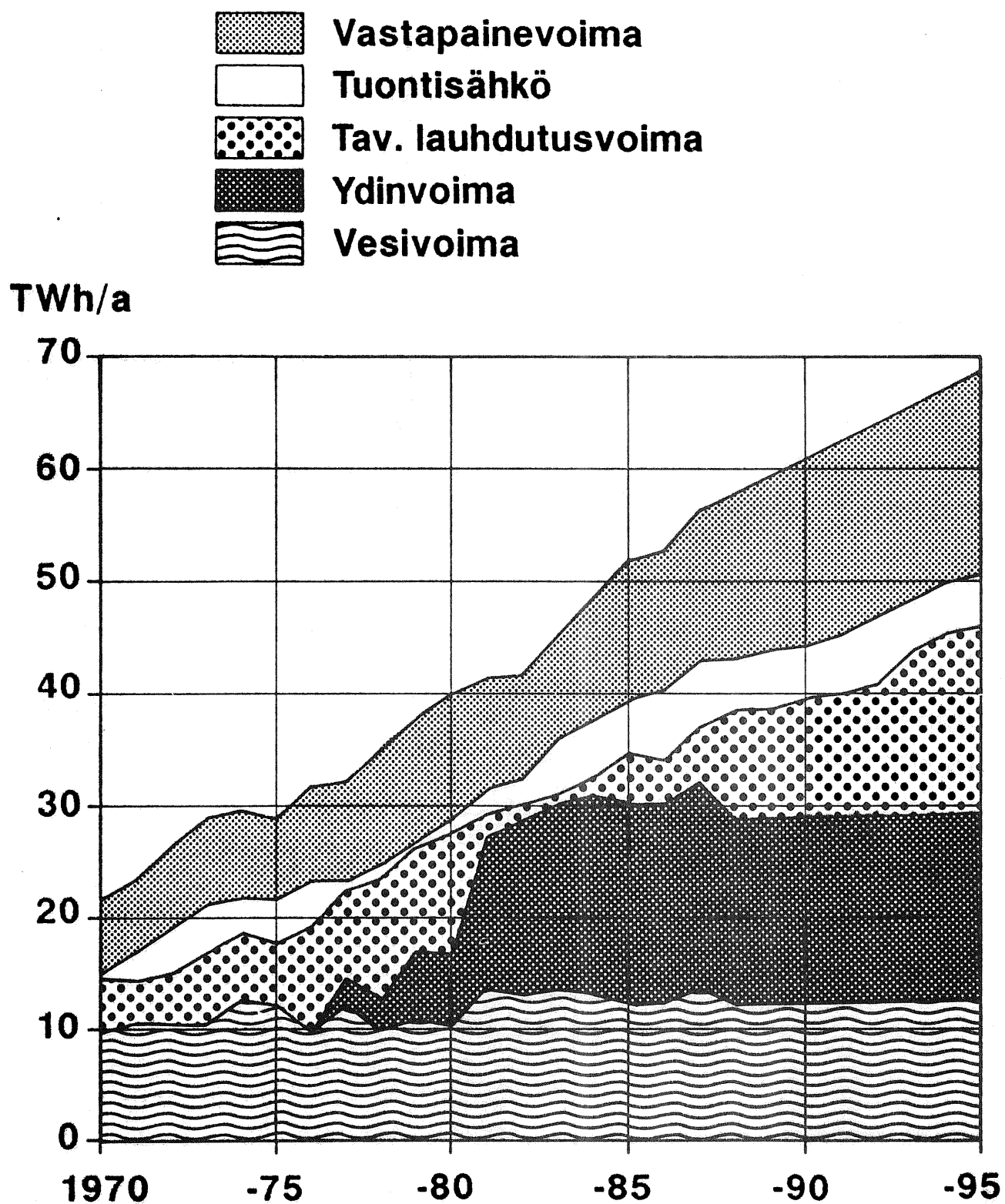
56,3 TWh



Kuva 5

SÄHKÖN TUOTANTO

TUOTANTOMUODOITTAIN 1970...1995



Kuva 6

Markku Maunula
Mikko Huokuna

JOKIJÄÄTUTKIMUSPROJEKTI

T I I V I S T E L M Ä

Suomessa jääpeite kattaa vesistöjä useiden kuukausien ajan vuodessa ja jokiemme suppo- sekä jääpatojen muodostumiseen liittyvät ongelmat ovat käytännöllisesti katsoen joka vuotisia. Toisaalta, kun sähkön käyttö ja tuotantokustannukset ovat suurimmillaan juuri talvella, on vesivoimalaitosten käytöllä erityisesti tuotannon ohjauksessa suuri taloudellinen merkitys.

Jokien jääolojen ja hydraulisten so. virtauksellisten tekijöiden sekä voimalaitosten ja vesistön käytön välistä riippuvuutta on Suomessa tutkittu varsin vähän. Kun osoittautui, että selvitystyö edellyttää huomattavaa mm. tietokoneohjelmistojen tutkimus- ja kehittämistyötä sekä laajamittaista havainnointia, päättivät Suomen Voimalaitosyhdistys r.y. sekä vesi- ja ympäristöhallitus käynnistää vuonna 1985 yhteisen nelivuotisen jokijää tutkimusprojektin.

Projektin tavoitteena on kehittää Suomen talviolosuhteisiin eri vesistöille soveltuva numeerinen malli, jonka avulla voidaan selvittää joen virtausolojen vaikutuksia jään muodostumiseen, jääkannen kehittymiseen ja jäiden lähtöön. Kehitettävä malli tulee palvelemaan vesistöjen käyttötoimintaa, voimalaitosten säätökäyttöä sekä vesistöjen käytön suunnittelua. Mallin avulla voidaan jo ennakoon esim. voimalaitoksia uusittaessa ja teknis-taloudellista ratkaisua rakennusasteesta tehtäessä selvittää vaihtoehtoisten käyttötapojen vaikutuksia joen jääolosuhteisiin.

1 JOKIEN JÄÄOLOISTA

Talvikauden aikana virtaus- ja jäättilanteet käsittävät vesistöjen jäätymisvaiheen, talvijakson ja jäiden lähdön. Huomattavaan osaan Suomen jokia muodostuu järvien tavoin tavallisesti rannoilta kasvunsa aloittanut ja virran yli levittäytynyt jääkansi. Nopean virtauksen paikoissa jään kasvu estyy, eikä jokeen muodostu lämpöenergian poistumista estävää jääkantta. Tämä johtaa veden alijäähtymiseen, ts. veden lämpötila laskee alle jäätymisspisteen. Alijäähtynyt vesi kasvattaa suppokiteitä.

Sulana pysyvissä joen osissa muodostuu siten suppoa, joka osittain lautoiksi kerääntyneenä kulkeutuu virran mukana. Kasaantuessaan suppo saattaa padota joen ja aiheuttaa tulvia ja putoushäviöitä voimalaitoksille. Suppo voi myös jäätyä kiinni voimalaitoksen välppiin, jolloin koko laitos saatetaan joutua sulkemaan. Jäätymisvaiheessa juoksutuksia pienentämällä voidaan nopeuttaa joen jääkannen syntymistä ja siten vähentää hyytö-ongelmia. Samalla luodaan paremmat edellytykset virtauksien säätelyyn talviaikaina.

Joen virtausnopeuden pysyessä alle 0,8 - 1,0 m/s muodostuu virtauksen mukana kulkeutuvasta suposta jokeen ns. dynaaminen jääkansi. Tällainen jääkansi kasvaa alavirrasta ylävirtaan päin ja sen syntymistä voidaan edistää puomien avulla. Virtausnopeuden ollessa suurempi kuin n. 1 m/s ei jääkantta muodostu, vaan joki hyytää aina pakkaskelien aikana. Tällaisiin paikkoihin muodostuu usein pohjajäätä, joka aiheuttaa vedenpinnan nousemisen yläjuoksulla. Hyytöräjäytyksien avulla voidaan tehokkaasti vähentää koskien pohjajään muodostumista. Toisaalta hyytöräjäytysten tulos on tilapäinen. Räjäytykset eivät poista pohjajään muodostumisen syitä.

Jokien erilaisista virtausoloista johtuen jään paksuus vaihtelee huomattavasti eri kohdissa jokea, jopa joen samassa poikkileikkauksessa. Suurelta osin jään paksuuden kasvu on samantyyppistä kuin järvissä, kun virtausnopeudet ja vedenkorkeuden vaihtelut ovat suhteellisen pieniä. Joen talviaikaiset virtaamamuutokset voivat toisaalta lisätä jääkannen muodostumista ja myös pienentää sitä riippuen siitä, miten muutokset vaikuttavat virtausoloihin ja lisätäänkö esim. lämpimän veden juoksutusta yläpuolisista järvistä. Jääkannen alla olevan suppokerroksen on todettu lisäävän jääkannen paksuuden kasvua.

Jään heikkeneminen ja jäiden lähtö vaihtelevat huomattavastikin eri vuosina. Vaihtelu johtuu monista eri tekijöistä, kuten virtauksen kuluttavasta vaikutuksesta, vedenpinnan vaihteluista, kevät valunnan nousunopeudesta, uomien syvyyden ja kaltevuuden muutoksista. Tärkein jäätä heikentävä tekijä on kuitenkin auringon säteilyenergian lisääntyminen.

Nopea jään lähtö tapahtuu tavallisimmin keväinä, jolloin sataa runsaasti vettä lyhyessä ajassa, ilman lämpötila on huomattavan korkea ja kevättulva alkaa keskimääräistä aikaisemmin. Tämän kaltaisen jäänlähdon yhteydessä esiintyvät pahimmat jääpadot. Rauhallinen jään lähtö tapahtuu, kun jään heikentyessä jäätä irrottavat voimat pysyvät riittävän pieninä. Säännöstelytoimenpitein voidaan viivyttää jäiden irtoamista, koska järvien keväतालennuksen avulla saatu varastotila käytetään normaalisti joen tulvavirtaamien pienentämiseksi.

Jokien ongelmallisista jäätymis- ja jäidenlähtöolosuhteista johtuen taloudelliset ja ympäristölliset vahingot ovat vuosittain huomattavan suuret, vaikka vahinkoja pyritään vesistön operatiivisten käyttö- ja tulvantorjuntatoimenpitein pienentämään. Voimalaitoksilla energiatappiot muodostuvat sekä putouskorkeushäviöiden kasvusta että laitosten juoksutusten käyttörajoituksista. Esim. Oulujoella joen jäätymiseen liittyvät ongelmat aiheuttavat talvesta riippuen vuosittain 600 000 - 2 000 000 mk:n energiamenetykset ja Iijoen suppoamisen aiheuttamat menetykset ovat syystulvavuosina noin 500 000 mk.

Keväiset jääpatotulvien aiheuttamat tulvavahingot ovat vuosittain useita miljoonia markkoja. Esim. Kalajoella pahimpina jääpatovuosina tulvavahingot ovat olleet v. 1977 n. 1 milj. mk. ja v. 1983 n. 400 000 mk. Suurimmat jääpatojen aiheuttamat tulvavahingot on viime vuosina aiheutunut rakentamattomilla Tornionjoella ja Ounasjoella. Vesi- ja ympäristöhallitus käyttää suppo- ja jääpatojen torjuntaan riippuen jäätilanteesta 300 000 - 2 000 000 mk vuodessa.

2 P R O J E K T I N O R G A N I S O I N T I

Suomen Voimalaitosyhdistys r.y. ja vesi- ja ympäristöhallitus käynnistivät nelivuotisen projektin vuonna 1985, jonka yhteiskustannukset ovat noin 2,5 milj. mk. Projektin rahoittajia ovat kauppa- ja teollisuusministeriö, vesi- ja ympäristöhallitus ja Suomen Voimalaitosyhdistys sekä yhdistyksen kautta Imatran Voima Oy, Kemijoki Oy, Kokemäenjoen Säännöstely-yhtiö, Oulun kaupungin energialaitos, Oulujoki Oy, Pohjolan Voima Oy, Päijänteen Säännöstelytoimikunta sekä useat vesi-voimaa käyttävät jakeluyhtiöt.

Neljän ja puolen vuoden aikana suoritettava työ on aikataulullisesti jaettu siten, että vuonna 1985 laadittiin havainto-ohjelmat, päätettiin laitteistohankinnoista ja aloitettiin samanaikaisesti neljällä tutkimusjokijaksolla havainnointi ja jokijäämallin kehittäminen. Laajamittaisempi havainnointi on suoritettu kolmen ensimmäisen talven aikana ja varsinaisten vesistökohtaisten jokijäämallien kalibrointi on aloitettu vuonna 1987. Projekti päättyy vuonna 1989.

Jäämallin kehittämiseen liittyvästä havainnoinnista on vastannut Kemijoen osalta Kemijoki Oy, Oulujoen osalta Oulujoki Oy ja Kalajoen osalta Kokkolan vesi- ja ympäristöpiiri sekä Kymijoen osalta Kymen vesi- ja ympäristöpiiri. Jokijäämallin kehittämisestä ja tutkimustyöstä vastaa insinööritoimisto Reiter Oy.

Asiantuntijoina ovat toimineet edesmennyt professori Harry Sistonen Teknillisestä korkeakoulusta ja tekn.tri Lennart Billfalk Ruotsin valtion voimayhtiöstä Vattenfall'ista. Hän on Älvkarlebyn laboratorion johtaja.

Kansainvälinen yhteistoiminta on projektin puitteissa ollut tiivistä. Yksi tunnetuimmista virtausmallitekniikan kehittäjistä tohtori Danny L. Fread USA:sta vieraili Suomessa kesällä 1985. Lämpötaseen laskentaa koskevan mallin osaa on kehitetty yhdysvaltalaisen tutkijan tohtori Hung Tao Shen'n kanssa. Jokijää tutkimusprojektiä on esitelty myös mm. Pohjoismaisissa ja IAHR:n (International Association for Hydraulic Research) sekä NRP:n (The International Northern Research Basins Symposium and Workshop) hydrologisissa kokouksissa.

3 H A V A I N N O I N N I S T A

Tutkimuskohteiksi on valittu jokijaksot Kymijoesta, Kalajoesta, Oulujoesta ja Kemijoen sivujoesta Kitises-tä. Jokien valinnassa on otettu huomioon mm. erityyppiset jää- ja ilmasto-olosuhteet, vesistöjen säännösteltävyys ja talviaikaiseen käyttöön liittyvät ongelmat. Havainnointi on ajallisesti jaettu jäätymisvaiheeseen, talviaikaan ja jäiden lähtöön. Erityisesti jäätymisvaiheen havainnointi on edellyttänyt menetelmien kehittelyä ja uudempien mittausvälineiden käyttämistä. Ilmakuivat ovat osoittautuneet erittäin käyttökelpoisiksi kar-toitettaessa pitempien jokijaksojen jäätymisen etene-mistä. Maastotöihin verrattuna ne ovat myös huomattavan edullisia. Keväällä havainnoinnissa on keskitytty jäi-den ohenemisen ja veden lämpötilan nousun havainnoin-tiin.

Tarkkojen veden lämpötila-arvojen ja jääkannen alaisen supon määrittäminen on osoittautunut huomattavan vaike-aksi. Veden lämpötilamittauksissa on käytetty merentut-kimuslaitoksessa kehitettyä elektronista lämpötilamit-taria, jonka tarkkuus on parempi kuin $+0,05^{\circ}\text{C}$ mit-tarin toiminta-alueella $-20\dots+50^{\circ}\text{C}$. Näin tarkkoja mittausarvoja tarvitaan erityisesti veden alijäähtymi-sen havaitsemiseksi. Kuitenkin jatkuvien, edustavien ja tarkkojen veden lämpötila-arvojen havainnointiin on syytä kiinnittää erityistä huomiota, kun mallin kalib-rointiin kerätään tietoja.

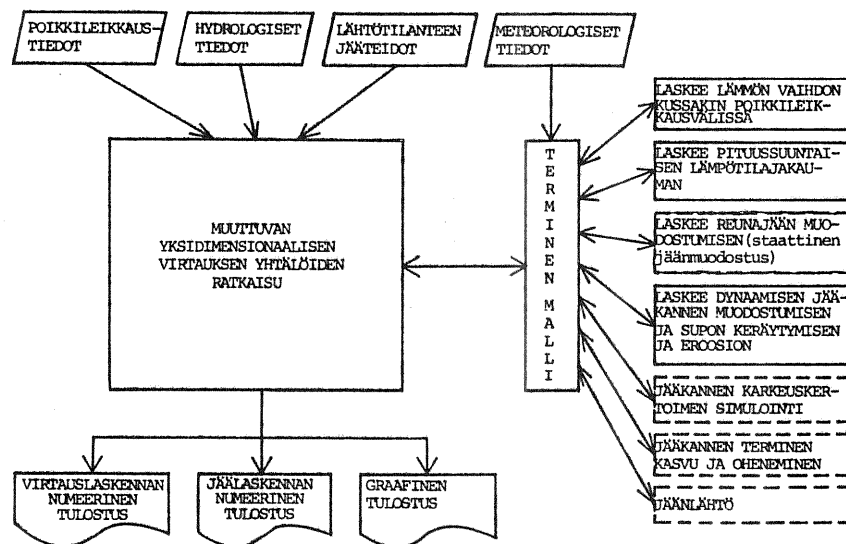
Jääkannen alaisen supon esiintymisestä tiedetään että sen paksuus vaihtelee huomattavasti sekä ajan että paikan suhteen. Siten kairaamalla ei supon esiintymisestä saada kovin edustavaa kuvaa. Tämän vuoksi havainnointi on paikoin suoritettu Teknisen korkeakoulun radiolaboratorion kehittämää tutkaa hyväksi käyttäen. Mittaustaajuutena on käytetty 120 MHz, jolloin tutkan erottelukyky ulottuu noin 10 metrin syvyyteen. Talviaikana suppomittauksia voidaan tutkalla tehdä käyttäen moottorikelkkaa, mutta juuri jääkannen muodostumisvaiheessa jäänpaksuuden vaihdellessa 0 - 5 cm on käytetty moottorikelkan sijasta ilmatyynyä. Valkealassa sijaitseva Finn-Leiju Oy on kehittänyt pienikokoisen noin 2 x 4 m suuruisen ilmatyynyä, jossa kaksi henkilöä voi varusteineen suorittaa mittauksia. Ilmatyynyä ei riko jäätä jos se on paksumpaa kuin 1 - 2 cm ja sillä voidaan kulkea myös avovedessä.

Dynaamisen jääkannen muodostumisen mallittamista varten suoritettiin marraskuussa 1987 mittauksia Oulujoella valitulla erikoismittausjaksolla noin 2 km:n matkalla. Mittaukset suoritettiin jokeen asennetun jääpuomin yläpuolella, joka sijaitsee noin 30 km Montan voimalaitoksen alapuolella. Jäätymisen aikaan virtaama vaihteli 70 - 400 m³/s. Paksuimmat suppohavainnot todettiin välittömästi jääpuomin yläpuolella, jossa ne vaihtelivat päävirtausalueella 1,5 - 2 m:iin ja Madekoskessa voimakkaamman virtauksen alueella, jossa ne vaihtelivat 1 - 1,5 m:iin. Rauhallisemmalla virtausalueella jään paksuudet olivat luonnollisesti ohuempia ja suvannoissa suppoa ei havaittu lainkaan (Maunula 1988).

4 JOKIJÄÄMALLISTA

Hydrologian ja hydraulikan tieteenaloihin liittyen matemaattisia malleja käytetään mm. vesistösuunnittelun ja vesistöjen operatiivisen käytön apuvälineenä sekä vesirakentamisen ympäristövaikutusten selvittämisessä esim. hankkeen vesioikeuskäsittelyn yhteydessä. Yleisemminkin tietokonetekniikan viime vuosien nopea kehittyminen on mahdollistanut matemaattisen mallitekniikan soveltamisen huomattavasti aikaisempaa tarkemmin ja laajamittaisemmin. Jokien talviaikaan sopivan matemaattisen virtausmallin puuttumisen takia ei kuitenkaan muuttuvaa virtaustilannetta ole voitu tarkastella toistaiseksi numeerisesti jääolosuhteissa. Siten mm. jokien talviajan lyhytaikaissäätöä ei ole numeerisesti pystytty tarkastelemaan, vaan käytännössä voimalaitoksen valmistuttua on koejakson aikana tehty tarkemmat selvitykset. Tällaisen menettelyn ongelmana on kuitenkin se, että voimalaitoksen rakennusasteeseen ei voida enää vaikuttaa.

Aivan viime vuosina on eri puolilla maailmaa kehitetty numeerisia malleja kuvaamaan jokien virtausolojen ja jään muodostumisen välistä vuorovaikutusta. Kaksidimensioiset mallit ovat toistaiseksi osoittautuneet liian raskaiksi käytettäväksi pitkien jokijaksojen ja muuttuvan virtauksen mallittamiseen. Jokijäämallin mallitus-työn pohjaksi valittiin tästä syystä yksidimensioinen virtausmalli. Tähän malliin on liitetty lämmönvaihdon ja jääkannen muodostumisen sekä jäänpaksuuden kasvun ja ohenemisen laskenta. Kuvassa 1 on jokijäämallin yksinkertaistettu toimintakaavio.



Kuva 1. Kaavio numeerisen jokijäämallin rakenteesta. Katkoviivalla merkityt osat ovat suunnitteilla.

Mallia on tähän mennessä käytetty mm. joen jäätymisai-
kaisen veden lämpötilan, jääkannen muodostumisen sekä
jääkannen muodostumisen aikaisen vedenpinnan korkeuden
simulointiin. Seuraavassa kappaleessa on kerrottu
lyhyesti laskentaan vaikuttavista tekijöistä ja esitet-
ty laskentatuloksia, joita on myös verrattu havaittui-
hin arvoihin.

Veden lämpötilan laskenta

Joen veden lämpötilan laskenta perustuu joen lämpötasapainon määrittämiseen. Mallitettavan jokijakson yläpään lämpötila annetaan aikaan sidotusti yläpuolisena reunaehtona. Yksidimensionaalisen kulkeutumisytälön (1) avulla määritetään veden lämpötila kaikissa jokijakson laskentapisteissä (poikkileikkauksissa) kunkin aika-askeleen jälkeen.

$$\frac{\partial T}{\partial t} + v \frac{\partial T}{\partial x} = \frac{\theta}{\rho C_p A} B \quad (1)$$

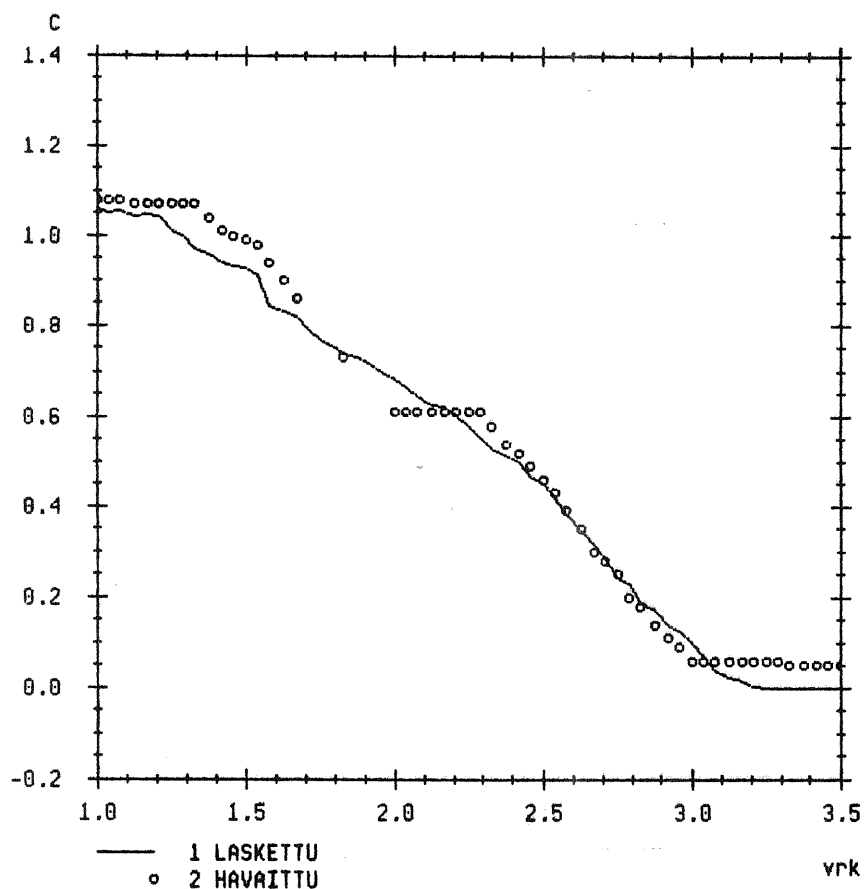
T = veden lämpötila
 t = aika
 x = etäisyys jokiuomassa
 ρ = veden tiheys
 C_p = veden ominaislämpö
 A = poikkileikkausala
 θ = lämpövuoto veden ja ilman välillä
 v = virtausnopeus
 B = uoman leveys

Veden ja ilman välinen vaikuttava lämpövuoto θ määritetään laskemalla erikseen säteilystä, kulkeutumisesta, johtumisesta ja haihtumisesta sekä sateesta aiheutuvat lämpövuotot käyttämällä empiirisiä kaavoja.

Lasketaan lämpövuonon suuruuteen vaikuttavat:

- ilman ja veden lämpötila
- tuulen voimakkaus
- pilvisuus
- ilman suhteellinen kosteus
- vuoden aika ja kellon aika (auringonsäteily)

Kuvassa 2 on esitetty havaittu ja laskettu veden lämpötila Merikosken voimalaitoksella 1.-3.12.1986.



Kuva 2. Laskettu ja havaittu veden lämpötila Montan voimalaitoksella 1.12.-3.12.1986.

Dynaamisen jääkannen muodostuminen

Voimakkaan lämpöhukan vallitessa vesi jäähtyy turbulentsisessa virtauksessa koko syvyydeltään. Tällöin syntyy suppoa joka on vedessä suspensiona pieninä kiteinä. Suppo kulkeutuu virtauksen mukana alavirtaan ja suppohiukkaset kertyvät yhteen muodostaen veden pinnalla kulkevaa supposohjoa. Supposohjo voi edelleen pinnalla jäähtyä lautoiksi.

Kun yhtälöstä 1 määritetty veden lämpötila T laskee alle 0°C :n muodostuu jäätä, jonka konsentraatio vedessä lasketaan kaavasta (2).

$$C_i = \frac{-\rho C_p T}{\rho_i L_i} \quad (2)$$

ρ_i = jään tiheys

L_i = jään muodostumislämpö

ja jäänmäärä voidaan laskea kaavasta (3).

$$\begin{aligned} Q_i &= C_i \cdot Q \quad (\text{m}^3/\text{s}) \\ Q &= \text{virtaama} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \end{aligned} \quad (3)$$

Kun vedenpinnalla virtauksen mukana kulkeva jää (suppohjo, suppolautat tai lautasjää) kohtaa jo muodostuneen jääkannen reunan tai painuu esteen alle. Se pysyykö virtaava jää veden pinnalla vai painuuko se pinnan alle riippuu siitä, mikä on jääkappaleeseen vaikuttavan nosteen suhde nopeusenergiasta riippuvaan veden alle painavaan voimaan. Mikäli noste on suurempi kuin pinnan alle painava voima, virrannut jää muodostaa uutta jääkantta esteestä ylävirran suuntaan.

Kappaleeseen vaikuttavien voimien suhde voidaan määrittää jääkappaleen dimensioiden, virtausnopeuden ja vesisyvyyden funktioina. (Pariset ja Hauser 1966). Jääkannen ylävirtaan etenemisen mahdollistavan virtaustilan Frouden luvun on todettu luonnossa vaihtelevan välillä 0,05-0,12 (esim. Ashton 1986).

$$\text{Frouden luku määritetään } Fr = \frac{V}{\sqrt{g H}} \quad (4)$$

H = vesisyvyys

Mallissa asetetaan Frouden luvulle kriittinen arvo, joten pienemmillä arvoilla jääkannen eteneminen mahdollistuu. Suoritetuissa analyyseissä on kriittisenä Frouden lukuna käytetty arvoa $Fr = 0,096$, mikä vastaa hyvin havaintoja. Muodostuneen jääkannen paksuus (h) lasketaan kaavasta (5) (Michel 1971).

$$\frac{v}{\sqrt{g h}} = \left(1 - \frac{h}{h_0}\right) \sqrt{2 (1-e) \left(1 - \frac{\rho_i}{\rho}\right) \frac{h}{h_0}} \quad (5)$$

e = jääkannen huokoisuus

Mikäli virtauksen Frouden luku on suurempi kuin annettu kriittinen arvo veden mukana virtaava jää painuu pinnan alle kerääntyen hitaamman virtauksen kohdalle jääkannen alle suppopadoiksi.

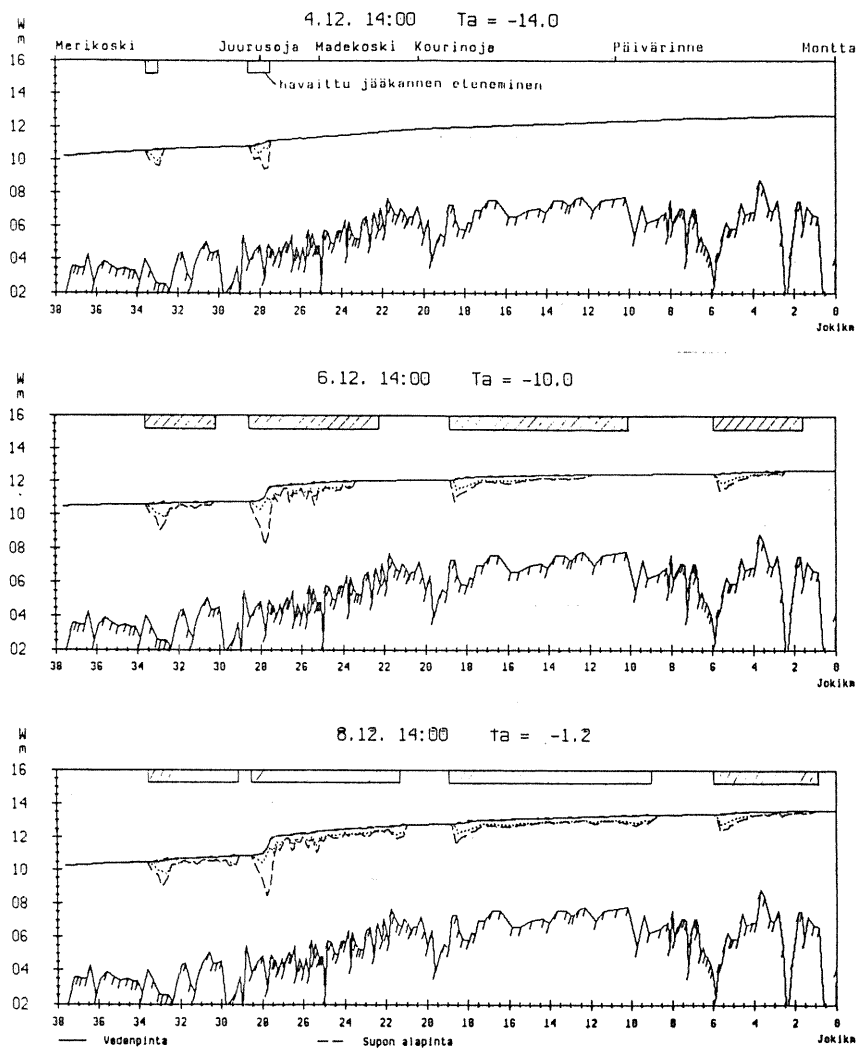
Kuvassa 3 on esitetty laskettu ja havaittu jääkannen eteneminen Oulujoella Montan ja Merikosken voimalaitoksien välillä 3.12.-8.12.1986. Kuvasta näkyy, että jääkannen eteneminen on pystytty simuloimaan melko hyvin.

Samoin onnistui kyseisen ajanjakson vedenpinnan simulointi, josta on esimerkki kuvassa 4. Kuvassa on esitetty havaittu ja laskettu vedenpinnan korkeus Madekosken yläpuolella 3.12.-8.12.1986. Näitä arvoja on verrattu myös simuloituun avotilan vedenpinnan korkeuteen. Jääkannen muodostumisen vaikutus vedenpinnan korkeuteen tulee hyvin esiin kuvassa 4.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Projektin tavoitteena on kehittää Suomen talviolosuhteisiin eri vesistöille soveltuva numeerinen malli, jonka avulla voidaan selvittää joen virtausolojen vaikutuksia jään muodostumiseen, jääkannen kehittymiseen ja jäiden lähtöön. Kehitettävä malli tulee palvelemaan vesistöjen käyttötoimintaa, voimalaitosten säätökäyttöä sekä vesistöjen käytön suunnittelua. Mallin avulla voidaan jo ennakoon esim. voimalaitoksia uusittaessa ja teknis-taloudellista ratkaisua rakennusasteesta tehtäessä selvittää vaihtoehtoisten käyttötapojen vaikutuksia joen jääolosuhteisiin.

Joen jäätyminen on erittäin monimutkainen ilmiö, jonka matemaattinen kuvaaminen on hankalaa. Nykyisellään puuttuu vielä tietoa kaikista jäätymistapahtuman yksityiskohdista. Suoritetut joen jäätyminen simuloinnit osoittavat, että huolimatta yksinkertaistuksista joita jäätyminen kuvaamisessa on tehty, mallilla voidaan hyvin kuvata jääkannen muodostumista sekä jäätyminen aikaisia vedenpintojen korkeuksia joessa. Jokijääohjelmiston kehitystyö jatkuu ja projekti päättyy vuonna 1989.



HAVAITU JÄÄKANNEN ETENEMINEN

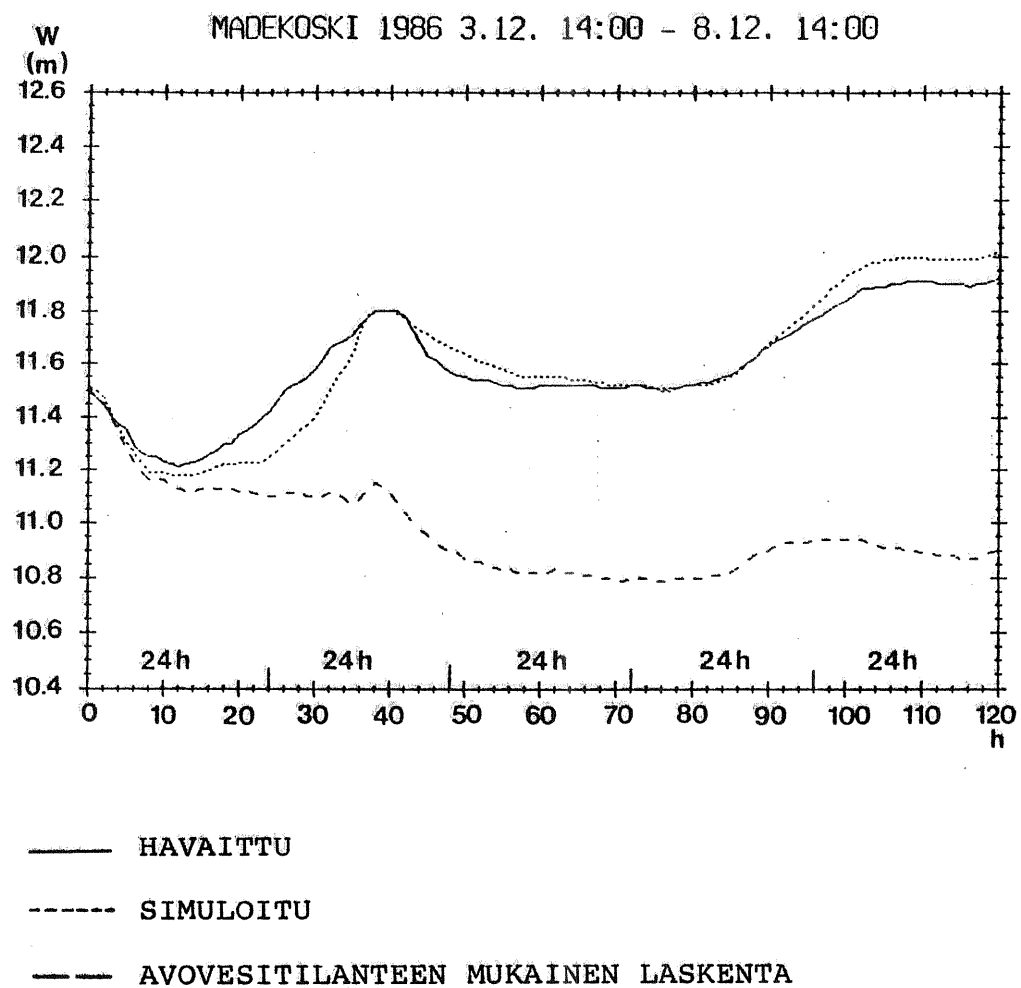


SIMULOITU VEDENPINTA



SIMULOITU SUPON PAKSUUS

Kuva 3. Jääkannen muodostuminen Oulujoessa 4.12.-8.12.1986. Havaitun ja lasketun jääkannen etenemisen vertailu.



Kuva 4. Simuloidut ja havaitut vedenkorkeudet Madekoskella jäätymisvaiheessa vuonna 1986.

K I R J A L L I S U U S

- Ashton, G.D., 1986. River and Lake Ice Engineering. Water Resources, Colorado.
- Huokuna, M. 1987. A Numerical Model for ice cover formation in river. Proceeding of Nordic expert meeting on River Ice, NHP Report nro 21.
- Fread, D.L., 1985. Channel Routing. Anderson M.G. and Burt, T.D. (ed.) Hydrological Forecasting John Wiley and Sons Ltd., London p. 437-503.
- Nezhikhovskiu, R.A., 1964. Coefficients of Roughness of Bottom Surface of Slush Ice Cover Soviet Hydrology: Selected Papers, No. 2, 1964.
- Maunula, M. 1988. Numerical Simulation of Ice Cover Formation in Rivers-Finnish River Ice Project. The Seventh Northern Research Basins Symposium, Greenland.
- Michel, B., 1971. Winter Regime of Rivers and Lakes. U.S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Hanover, NH.
- Pariset, E. ja Hauser, R., 1966. Formation of Ice Covers and Ice Jams in Rivers. Journal of the Hydraulic Division, ASCE, Vol. 92, Nov 1966.
- Shen, H.T., Yapa, P.D., 1984. Computer Simulation of Ice Cover Formation in the Upper St. Lawrence River. Workshop on Hydraulics of River Ice, Fredericton, NB.
- Suomen Voimalaitosyhdistys ry. Jokijääutkimusprojektin väliraportti, 1987. Julkaisu-maton.

KÄYTÄNNÖN KOKEMUKSIA SUPPO- JA JÄÄPADOISTA SEKÄ NIIDEN TORJUNNASTA

1. SUPPO - JA JÄÄPATOJEN ESIINTYMINEN

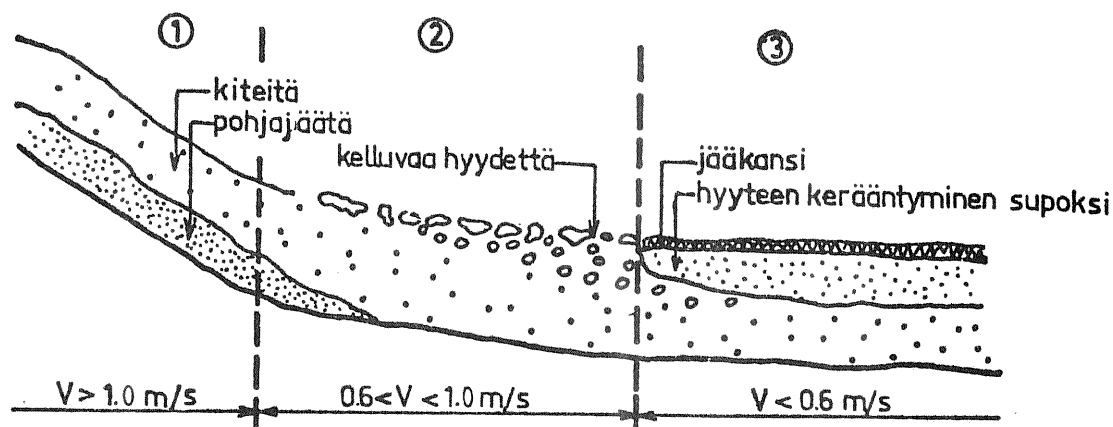
Suppo on syystalven ilmiö. Kun veden virtausnopeus on yli $0,6 \text{ m s}^{-1}$ staattisen jääkannen muodostuminen estyy. Pakkasella vesi jäähtyy voimakkaasti ilman jääpeitettä olevilla jokiosilla. Veden lämpötila laskee 0°C alapuolelle, jolloin veteen muodostuu virtauksen mukana kulkevia suppokiteitä. Kun veden virtausnopeus on $0,6 - 1,0 \text{ m s}^{-1}$ pääosa suppokiteistä kelluu veden pinnalla ja muodostaa vastavirtaan kasvavan dynaamisen jääkannen.

Veden virtausnopeuden ollessa yli $1,0 \text{ m s}^{-1}$ suppokiteet kulkeutuvat täysin sekoittuneena vesimassaan. Nopean virtauksen alueella kiteet pyrkivät tarttumaan mm. pohjakiviin ja ennen kaikkea virtauksen hidastuttua kosken alapuolella olevan jääkentän alapintaan. Koskessa pohjakiviin tarttuneen supon paksuudeksi voi muodostua jopa useita metrejä (kuva 1).

Tilapäinen suppopato muodostaa yläpuolelleen suvannon, joka nopeasti saa jääpeitteen. Alavista rannoista johtuen tämä kosken luonnollinen jäätymisprosessi aiheuttaa paikoin vahinkoja.

Koskijakson alapuolella suvantojään alapintaan tarttuva suppo pienentää jään alla tapahtuvan virtauksen poikkileikkausala ja aiheuttaa siten padotusta. Padotuksen johdosta osa vedestä virtaa jään päälle huuhtellen ja sulattaen jään päällä olevan lumikerroksen. Tällöin välittömästi koskijakson alapuolelle suvantoon syntyy paksu jää.

Jääpatoja syntyy pienehköissä joissa, kun virtaama kasvaa keväällä nopeasti lumen sulannan myötä. Jääpadot ovat myös melko suurten, mutta matalien ja kivikkopohjaisten, jokien ongelma. Lisäksi jääpatojen



Kuva 1. Kaaviokuva erilaisista hyyde ja suppoalueista koskessa ja sen alapuolella.

syntymisen edellytys on, että jään paksuus vaihtelee voimakkaasti joen pituussuuntaan mentäessä. Kevättalvella ennen sulamiskautta jää on ohuinta koskissa ja niiden yläpuolisissa suvannoissa. Paksuinta jää on koskien alapuolella. Jääpadot syntyvät yleensä virtapaikkojen alapuolelle. Mikäli jäitä on runsaasti liikkeellä, jääpato kasvaa pituutta ylävirtaan useita satoja metrejä, jopa kilometrejä. Jääpadon syntymismahdollisuutta lisäävät koskijakson alapäässä olevat saaret, siltapilarit tai joen jyrkkä mutka.

2. TOIMENPITEET SUPPO- JA JÄÄPATOJEN SEKÄ NIIDEN AIHEUTTAMIEN VAHINKOJEN TORJUMISEKSI

2.1 PITKÄN AJANJAKSON TOIMENPITEET

Pitkän ajanjakson toimenpiteinä tulevat kyseeseen rakentamisen ohjaaminen siten, että suppo- ja jääpatojen aiheuttamat tulvat tuottavat vahinkoa mahdollisimman vähän. Toisaalta vesistöön kohdistuvin rakennustoimenpitein voidaan jääpatojen syntyriskiä vähentää.

Rakentamisen ohjaus rannoilla

Rakentamisen ohjaamisessa tulee kyseeseen kaavoitustoimenpitein tai muuten jättää tulva-alueet pysyvän rakennustoiminnan ulkopuolelle. Alavat tulva-alueet voivat toimia esim. puistoina.

Penkereiden avulla voidaan tietyt alueet suojata jääpatojen aiheuttamilta tulvilta. Mikäli huomattava osa tulva-alueesta suojataan penkereillä, jääpadon ja sen yhteydessä tapahtuvan vedennousun käyttäytyminen voi muuttua aikaisemmin havaitusta.

Vesistörakentaminen

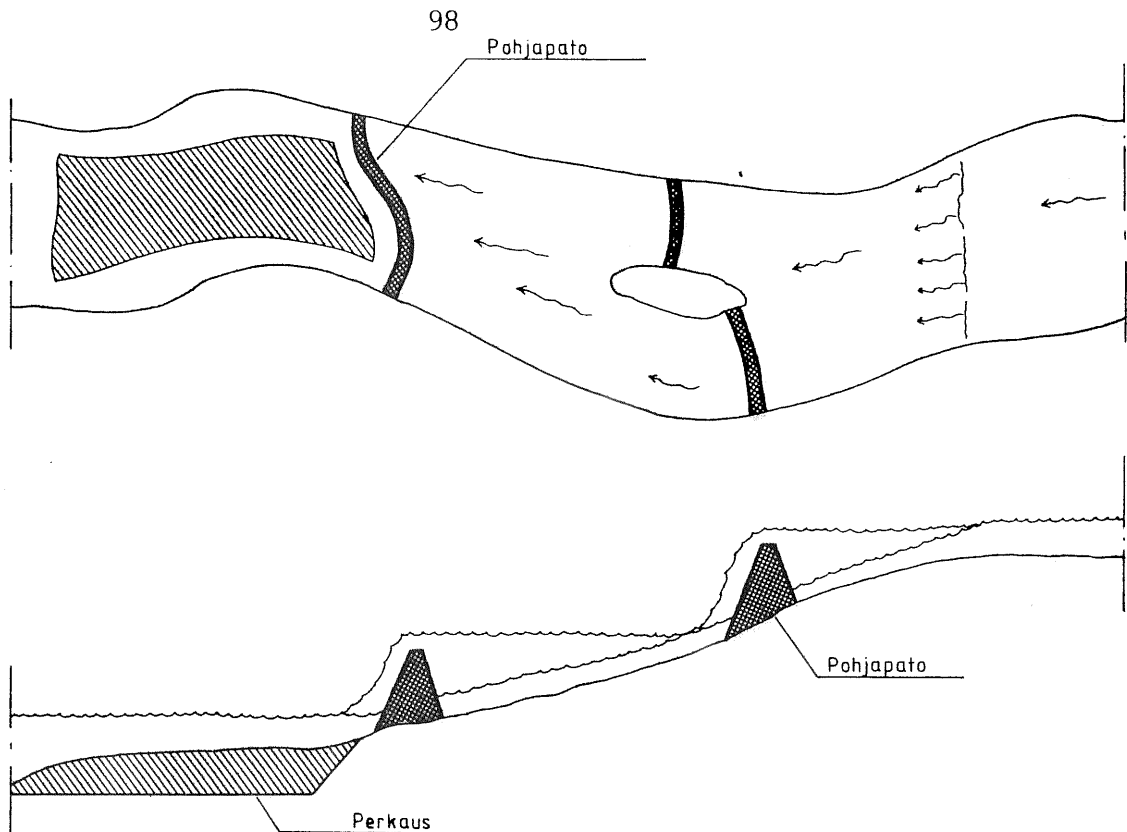
Vesistöön kohdistuvilla rakennustoimenpiteillä pyritään uoman muotoa virtapaikassa muuttamaan siten, että koskijakso jäätyisi mahdollisimman nopeasti, ettei synny suppoa. Toisaalta pyritään estämään paksun jään muodostuminen koskijakson alapuolelle. Kokemusten mukaan kosken osittainen porrastaminen pohjapadoilla nopeuttaa jääkannen syntymistä. Koskijakson alapäässä olevan suvan syventämisellä voidaan vähentää jään paksuuntumista (kuva 2).

Sekä suppo- että jääpatoja voidaan vähentää säännöstelemällä. Vesistön latvaosille täytyy varata tätä varten riittävästi säännöstelytilaa. Tällöin syksyllä joen jäätymisvaiheessa voidaan virtausta tilapäisesti pienentää, jolloin myös veden nopeus pienenee, jääkannen muodostuminen nopeutuu ja suppon syntyminen vähenee. Keväällä pitkitetään jäiden lähtöä virtaamia alentamalla. Kokonaissäännöstelytilan lisääminen vesistöissä, joissa on suppo- ja jääongelmia, näyttää epätodennäköiseltä.

2.2 SUPPO- JA JÄÄPATOJEN TORJUNTA SÄÄNNÖSTELYTOIMENPITEIN

Lyhytaikaissäännöstely

Ainakin Perhonjoella ja Kalajoella tehtyjen havaintojen mukaan voimakas lyhytaikaissäännöstely paksuntaa jäätä ja lisää suppo-ongelmia, kun voimalaitoksen alapuolelle on vapaita koskia. Kun virtaaman ja veden-



Kuva 2. Periaatepiirros pohjapatojen rakentamisesta koskeen sekä kosken alapuolisesta perkauksesta suppo- ja jääpatojen torjumiseksi.

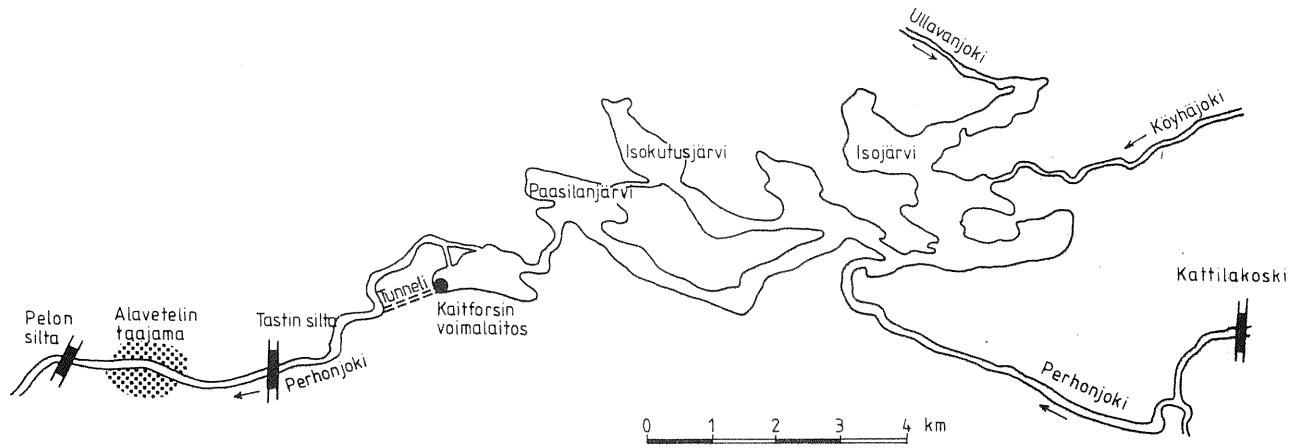
korkeuden vaihtelu on suuri, vaihtelun johdosta vettä nousee paikoin jään päälle jäätä paksuntaen. Tämän johdosta lyhytaikaissäännöstelyä on rajoitettu. Seuraavassa on esitetty Hamarin voimalaitoksella Kalajoessa toteutetut rajoitukset:

Vuorokauden keski- virtaama n. $15 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$		Vuorokauden keski- virtaama n. $7 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$	
Juoksutus- aika	Juoksutus $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$	Juoksutus- aika	Juoksutus $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$
07 - 13	23	07 - 10	19
16 - 22	23	16 - 19	19
01 - 04	23	01 - 02	19

Muina aikoina juoksutus on vähintään $2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Voimalaitoksen mitoitusvirtaama on $43 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

Järvien lämpövaraston käyttö

Kokkolan vesi- ja ympäristöpiirissä on havaittu ja teoreettisesti tutkittu säännösteltyjen järvien käyttämahdollisuuksia alapuolisen jokiosan jäiden mahdollisimman tehokkaaseen sulattamiseen. Melko mataloissakin järvissä vesi lämpenee talven kuluessa järven pohjasta tulevan lämpövuon johdosta, joka on $1 - 2 \text{ W m}^{-2}$. Täten esim. Perhonjoen keskiosan järviin ($A = 6 \text{ km}^2$) tuleva lämpövuoto pohjasta on noin 9 MW (Kaitforsin voimalaitoksen maksimiteho on $6,5 \text{ MW}$ kuva 3). Osa lämmöstä poistuu jään kautta ja osa järvien läpi virtaavan veden mukana. Järven pohjakerroksissa veden lämpötila kevättalvella on $2 - 4 \text{ }^\circ\text{C}$.

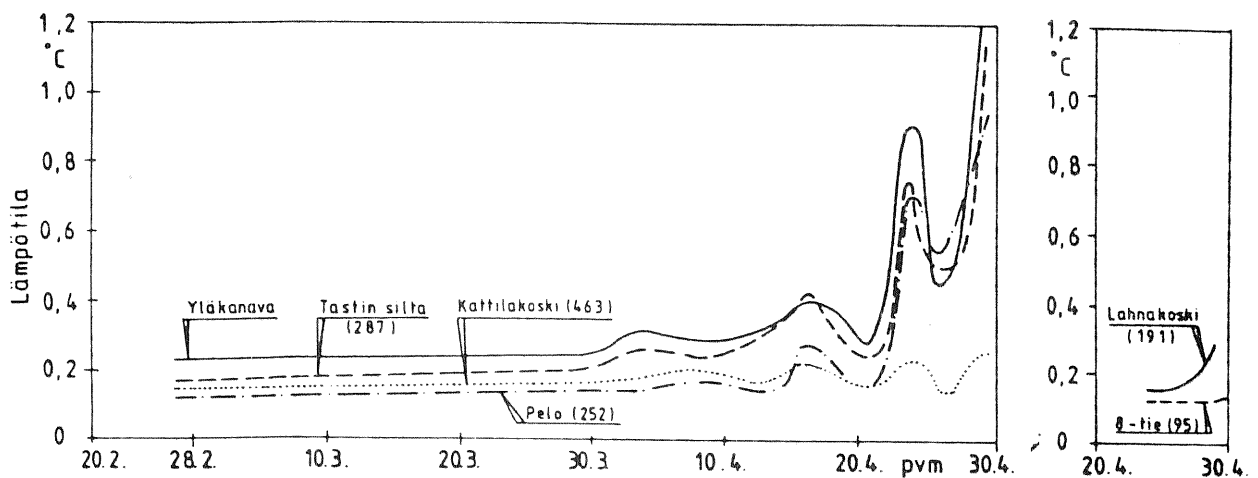


Kuva 3. Perhonjoen keskiosan järviryhmä sekä Alavetelin taajama, jossa on esiintynyt jääpatoja.

Järvessä oleva "lämmin vesi" saadaan purkautumaan laskemalla nopeasti maaliskuis - huhtikuun vaihteessa järven vesipinta säännöstelyn alarajalle, jolloin pääosa järven vedestä purkautuu. Perhonjoesta saadun kokemuksen mukaisesti lämpimät vedet sekä virtauksen kasvu sulattavat auki laajoja alueita sekä järviryhmässä voimalaitoksen yläpuolella että jokiosalla voimalaitoksen alapuolella (kuva 4).

Keväällä huhtikuussa auringon lämpösäteily vaikuttaa huomattavasti tehokkaammin avoveteen ja tummuneeseen jäähen kuin lumipeitteeseen jäähen. Veden pinnasta säteilyn takaisinheijastuma on 5 - 40 %. Vastava arvo lumipeitteestä on 40 - 85 %. Auringon lämmittäessä vettä jään sulaminen edelleen kiihtyy.

Perhonjoessa Alavetelin kohdalla jäät voidaan sulattaa haitattomaksi noin 2 viikon kuluessa järviryhmän veden pinnan laskun aloituksesta lukien. Tässä tapauksessa säännöstelyn jäitä sulattava vaikutus ulottuu Pelon sillalle asti; sen alapuolelle vain edullisina keväinä.



Kuva 4. Veden lämpötilat keväällä 1987 Perhonjoen keskiosan järviryhmän ylä- ja alapuolella. Vesi on kylmintä Kattilakoskella järviryhmän yläpuolella sekä Lahnakoskella ja 8-tien sillan luona jokisuulla.

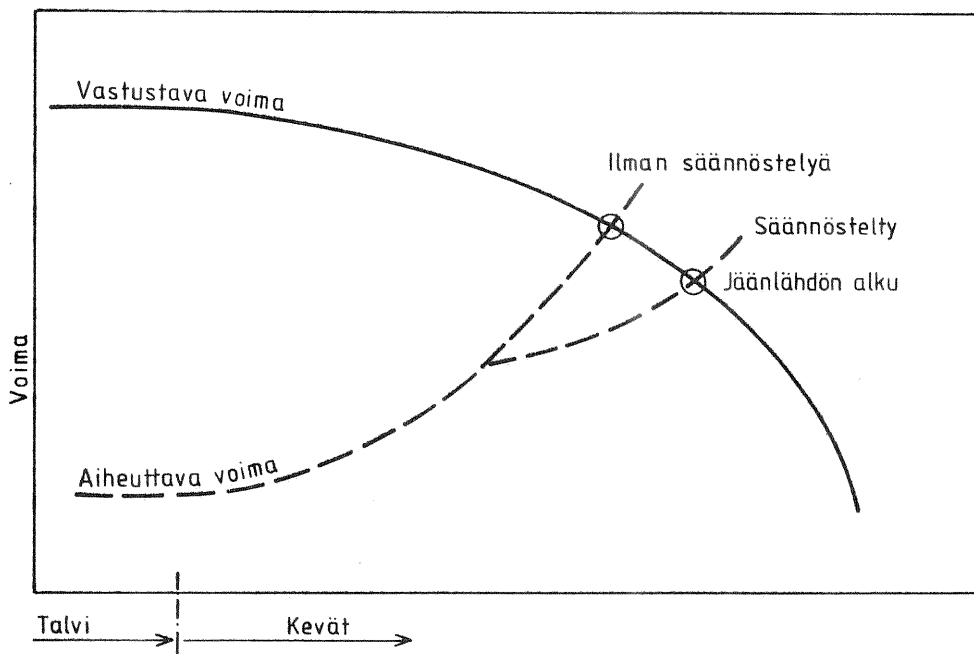
Tulvan nousuvaiheen säännöstely

Vuosien kokemusten perusteella säännöstelyä hoitavalle henkilölle on kehittynyt "sormituntuma", millä virtaamalla jäät alkavat liikehtiä jääpatojen synnyn kannalta ongelmallisissa kohdissa (kuva 5). Lisäksi säännöstelijällä on käytettävissä vesistötietojen, lumitilanteen ja säätilan perusteella laadittu ennustemalli virtaamien tulevasta kehityksestä. Käytettävissä olevien säännöstelytilojen avulla voidaan virtaamat pitää tietyn aikaa niin alhaalla, että jäät pysyvät paikallaan. Toisaalta säännöstelytiloista vain osa voidaan käyttää jääpatotulvien torjuntaan. Yleensä jäiden lähdettyä virtaamat vähäjärvisissä vesistöissäkin kohoavat vielä olennaisesti.

Säännöstelyn käyttäjälle olisi hyödyllistä saada yksinkertaisesti havaittavat parametrit, joista voitaisiin nykyistä tarkemmin ennustaa jäiden lähtöä. Toisaalta jäiden "huuhtelu" mahdollisimman suurella virtaamalla on tehokas toimenpide jäiden sulattamisessa. Viimeisen 2 - 3 vuorokauden aikana ennen jäiden lähtöä jäät ohenevat yleensä 5-10 cm d⁻¹.

2.3 JÄÄTYMISEN EDISTÄMINEN PUOMIEN AVULLA

Kun veden virtausnopeus on pitkillä jokiosuuksilla yli 0,6 m s⁻¹, kiinteän jääkannen muodostumista voidaan edistää puomien avulla niillä jokiosilla, joilla virtausnopeus on 0,6 - 1,0 m s⁻¹. Virtauksen mukana veden pinnalla kulkeva jääsohjo alkaa keräytyä puomia vasten ja siitä ylöspäin muodostaen ylävirtaan kasvava kiinteän jääkentän. Joissakin tapauksissa jääkenttä alkaa kasvaa joen yli vedettyä nailonköyttä vasten. Yleensä puupuomin käyttö antaa paremman tuloksen.



Kuva 5. Jään lähtöön vaikuttavat voimat. Vastustava voima pienenee, kun jää irtautuu rannoista ja osittain sulaa. Aiheuttava voima kasvaa virtaaman nousun myötä.

Kun veden virtausnopeus on $1,0 \text{ m s}^{-1}$, jokeen ei saada syntymään puomin avulla kiinteää jääkenttää. Tällaiset jokiosat ovat joko koko talven auki tai jääkansi muodostuu vähitellen rannoista ja kivistä alkaen kuroutumalla.

Kun vesistöön on muodostunut jääkansi, pohjajäät ja jään alapintaan kiinnittyneet supot sulavat vähitellen pois. Tämän jälkeen voidaan varovasti nostaa virtaamaa, mikäli se on tarpeen.

2.4 JÄÄPATOJEN ESTÄMINEN HEIKENTÄMÄLLÄ JÄÄTÄ ENNAKKOON

Jään tummentaminen

Jään sulamista voidaan yrittää nopeuttaa tummentamalla jäätä kohdissa, joihin kokemuksen mukaan syntyy jääpatoja. Jäätä tummennetaan esim. kuonalla tai hiekalla, joka levitetään jäälle kevyellä traktorilla tai moottorikelkalla vedettävällä levittimellä. Levitys tapahtuu yleensä maaliskuun loppupuolella.

Menetelmä on tehokas sateettomina ja aurinkoisina keväinä. Lisäksi menetelmän teho paranee pohjoiseen päin mentäessä, koska siellä saadaan suhteessa enemmän auringon valoa ennen jäiden lähtöä.

Huhtikuun alkupuolelle sattuva kevätpyry voi hävittää hiekotuksen tehon lähes kokonaan. Valkea lumi peittää jo osittain jäähän uponneen tummentusaineen.

Menetelmä on suoritettava lähinnä Oulunjoen pohjoispuolella. Tätä etelämpänä sitä ei kannata kovin laajasti käyttää.

Jään sahaus ja räjäyttäminen

Jään sahauksella sekä ennakoräjäytyksillä pienennetään jääkentän vastustavaa voimaa todennäköisillä jääpatopaikoilla. Sahaukset tehdään maaliskuussa ja räjäytykset huhtikuussa välittömästi ennen kevätvirtaamisen nousua.

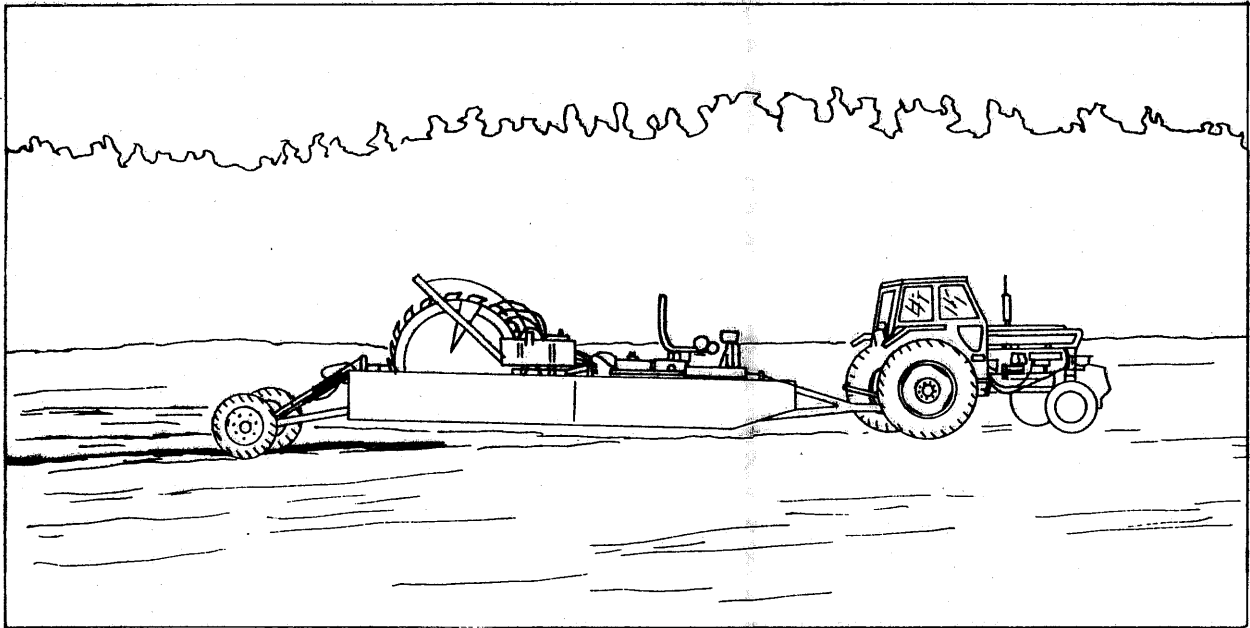
Kokkolan vesi- ja ympäristöpiirissä on kehitetty jääsaha, joka tekee maksimissaan 130 cm syvää 18 cm levyistä railoa jäähän nopeudella 1 km h^{-1} (kuva 6). Keväällä 1987, jolloin oli poikkeuksellisen paksut jäät, jäätä sahattiin yhteensä noin 25 km matkalla välillä Kyrönjoki-Kivijoki. Kapeaan jokeen sahataan 2 railoa joen pitkästä suuntaan. Leveään jokeen, kuten Kyrönjoki, railoja tehdään 4 .

Pahimpana ongelmana on ollut terän osuminen kiveen. Tämän eliminomiseksi laite varustetaan kuluvana keväänä tutkalla, joka paljastaa kivien sijainnin.

2.5 SUVANTOJÄIDEN KEINOTEKOINEN PAIKALLA PITÄMINEN

Jääpadot syntyvät yleensä siten, että kosken yläpuolisesta suvannosta jäät lähtevät matkaan ja pysähtyvät kosken alaosaan, jossa on vielä paksu jääkansi. Kosken yläpuolista jääkenttää voidaan pidätellä paikallaan $2 - 4 \text{ d}$ jääpuomin avulla (kuva 7). Tällöin kosken alapuoliset jäät ehtivät olennaisesti sulaa ja heiketä.

Jääpuomi on siten rakennettava, että se voidaan kaikissa olosuhteissa aukaista, kun kauempana ylävirralla olevat jäät alkavat liikehtiä. Jääpuomista on käyttökokemuksia mm. Ruotsista ja Kanadasta.



Kuva 6. Kokkolan vesi- ja ympäristöpiirissä kehitetty jääsaha taval-
lisen maataloustraktorin vetämänä.

2.6 TOIMENPITEET JÄÄPATOJEN AIKANA

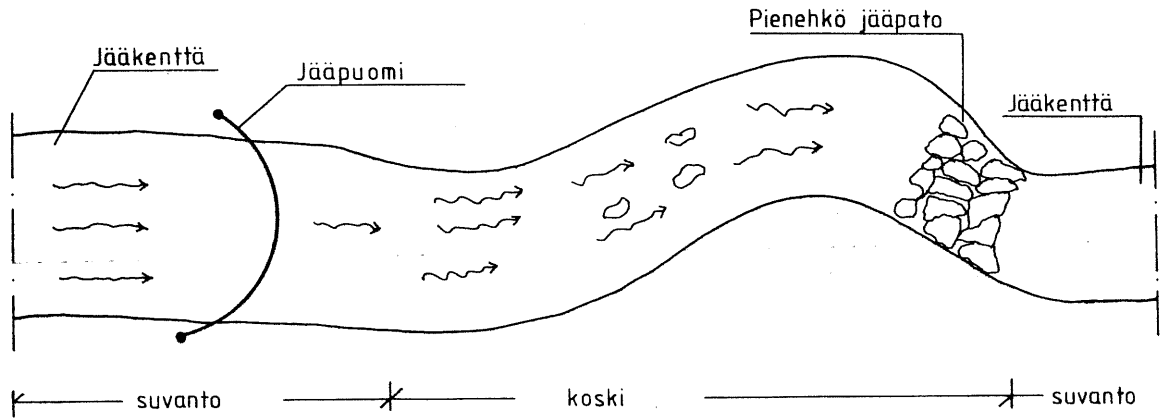
Syntyneen jääpadon purkautumista voidaan jossain määrin nopeuttaa räjäyttämällä padon kärkeä ja kiinteää jääkenttää padon edestä. Toisaalta on myös harkittava, mitä alavirralla tapahtuu jääpadon lauet-
tua. Osittain sama jäämassa voi muutama kilometri alavirtaan päin tehdä uuden padon, jossa syntyy uusia vahinkoja.

Vesistössä tulisi olla sopivia kohtia esim. levennyksiä ja syvennyksiä, joihin jääpadosta purkautuva jäämassa sopisi harmeja aiheuttamatta. Tämän johdosta täysin kanavamainen joki, jolla on vielä penkereet rannoilla on erittäin vaikeasti hallittava, mikäli esiintyy jääpatoja.

Kun jääpatojen aiheuttama tulvavaara on ilmeinen rakennuksia voidaan suurilta tuhoilta suojella myös omatoimisesti esim. tekemällä hiekkasä-
keistä tilapäisiä penkereitä, sulkemalla lattiakaivot, ettei viemäristä tule vesi sisään, tiivistämällä ovet jne. Tätä varten tarvitaan tiedo-
tustoimintaa radion ja ulkona käytettävien kovaäänisten kautta.

3. LOPPULAUSE

Jää- ja suppopatojen hallinnassa täytyy lähteä siitä, että syksyllä jokeen syntyy jääkansi mahdollisimman varhain, talvella tulee mahdol-
lisimman pitkälle välttää toimenpiteitä, joilla vesi voi nousta jään
päälle sekä keväällä sulattaa jää paikalla mahdollisimman pitkälle.
Lisäksi mahdollisten tulva-alueiden käytössä tulee vahinkojen pienentä-
miseksi ottaa huomioon tulvariski.



Kuva 7. Jääpuomin sijoittaminen koskenniskan yläpuolelle. Koskesta jäät ovat siirtyneet alapuolista kenttää vasten. Jäämassa koskessa on kuitenkin niin pieni, ettei näin syntynyt jääpato yleensä ole vahingollinen.

KÄYTETTY KIRJALLISUUS JA MUUT TIETOLÄHTEET:

- Ice engineering 1982. Department of the Army Corps of engineers, Office of the chief of engineers. Washington, D.C. 20314. EM 1110-2-1612.
- A new Approach to an Old Problem 1982. Ministry of Natural Resources, Canada.
- Billfalk, L. ?. Load measurements on the ice boom at the Älvkarleby power plant. 10 s.
- Reiter, P. 1983. Jokien jääolojen ja voimalaitosten lyhytaikaissäädön välinen hydraulinen riippuvuus, tekninen selostus, kirjallisuuskatsaus. 57 s.
- Palosuo, E. 1978. Talvikauden hydrologia II, järvet ja joet, luonnos. Helsingin yliopisto, geofysiikan laitos. 98 s.
- Lakso, E. 1987. Perhonjoen keskiosan säännöstelyn vaikutus jäiden sulamiseen Kaitforsin alapuolella. Vesioikeuteen tehty muistio. 11 s.
- Ruhanen, T. 1987. Lyhytaikaissäännöstelyn vaikutukset jääoloihin, Perhonjoen keskiosan järviryhmän säännöstelyn täydennyslakemus. 40 s.
- Jokijää tutkimuksen väliraportti. 1987. Jokien jääolojen ja voimalaitosten sekä vesistöjen käytön välinen riippuvuus. Helsinki. 71 s.

Erik Neumann
Olof Sandström

Käännös
ruotsinkielestä

KALAT JÄÄHDYTYSVESIEN VASTAANOTTOVESISTÖISSÄ - KOKEMUKSIA JA KEHITTÄMISMAHDOLLISUUKSIA

1 JOHDANTO

Ruotsalaisissa ja suomalaisissa ydinvoimalaitoksissa, jotka ovat ylivoimaisesti suurimpia jäähdytysveden käyttäjiämme, on suoritettu monivuotisia biologisia tutkimuksia. Ruotsalaisissa ohjelmissa on mielenkiinto ensi sijassa suuntautunut kaloja koskeviin vaikutuksiin. Tämä johtuu osaksi siitä, että kalat ovat taloudellisesti mielenkiintoisia, osaksi siitä, että suurimman vaikutuksen voi odottaa kohdistuvan juuri niihin. Liikkuvuutensa perusteella kalat reagoivat lämpötilojen muutosnopeuteen siirtymällä muualle, mikä kohtalokkaalla tavalla voi muuttaa kalakantaa.

Tämä esitelmä käsittelee aluksi niitä vaikutuksia, joita on havaittu ruotsalaisten ydinvoimalaitosten lähialueilla olevissa kaloissa. Tämän jälkeen tarkastellaan mahdollisuuksia hyödyntää tulevaisuudessa lämpöpäästöjä paremman kalatalouden aikaansaamiseksi sen sijaan, että vain yritetään minimoida niiden vaikutuksia, kuten nykyisin tehdään.

2 RUOTSALAISIA KOKEMUKSIA

2.1 Menetyksiä jäähdytysveden väylissä

Suurissa ruotsalaisissa lämpövoimalaitoksissa siivilöidään jäähdytysvesi välipoilla ja hienotiheyksisillä nauhasuodattimilla, mikä karsii suurempia eläimiä, etupäässä kaloja. Ekologisesti ja taloudellisesti vakavimmat tappiot ovat kohdanneet pienikokoisia ankeriaita Barsebäckin ja Ringhalsin ydinvoimalaitoksissa länsirannikolla. Tämä ongelma on jatkunut pitkään, kun taas muiden lajien kohdalla sisään ajautuminen on ollut enemmänkin tilapäistä. Forsmarkissa Pohjanlahdella on tarkkaa havainnointia toistaiseksi tehty vain vuonna 1987, jolloin suhteellisen suuria määriä silakanpoikasia ja kolmipiikkejä tuhoutui.

Lämpötila- ja painemuutokset sekä klooraus voivat vahingoittaa siivilöiden läpi meneviä eliöitä. Ne voivat myös joutua alustaan kiinnittyvien ja tunneleiden seiniä peittävien eläinten, ennen kaikkea merivuokkojen ja sinisimpukoiden syömiksi. Ruotsissa olemme keskittäneet huomionne kalojen mätiiin ja poikasiin. Suurimpia pelättiin vaikutusten olevan Ringhalsissa, koska useimpien siellä esiintyvien merellisten lajien varhaiset kehitysasteet

elävät vapaana vedessä ja ovat siten suuressa vaarassa joutua voimalaitoksen imuun. Kulkeutumisesta läpi laitoksen on siksi tarkkailtu. Mädin menetyksen ei ole arvioitu voivan tulla huomattavaksi kannalle, vaikka kuolleisuus olisi totaalistakin. Sita vastoin tietyillä ranta-vesiin rajoittuvilla lajeilla, kuten kivihuulikala (*Ctenolabrus rupestris*) pelätään sitä vastoin pienten poikasten tuhoutumisen vaikuttavan kantaan voimalaitoksen läheisyydessä.

2.2 Houkuttelu / karkottaminen

Kunkin kalalajin aineenvaihdunta toimii tehokkaimmin lajityypillisellä lämpötilavälillä. Tästä seuraa, että kala pyrkii lämpötilagradientissa voimakkaasti hakeutumaan tälle "mieltymys" tai "optimi" -lämpötila-alueelle. Tämä käyttäytyminen on syynä jäähdytysvesipäästöjen ehkä näkyvimmillä biologisille vaikutuksille ja on siksi herättänyt suurta kiinnostusta sekä Ruotsissa että kansainvälisesti.

Kalojen luokittelu lämmin- tai kylmävesilajeihin voidaan tehdä lähtien saaliiden jakaantumisesta lämpötilaskaalan suhteen (kuva 1). Esimerkkinä lämpimien vesien kaloista ovat särkikalat, ahven ja ankerias, kun taas esim. turska, silli ja suurin osa lohikaloista ovat kylmien vesien lajeja. Houkuttumisen jäähdytysvesipäästöön voidaan odottaa tapahtuvan, jos optimilämpötila on korkeampi kuin ympäristön lämpötila. Karkottumisen voi odottaa tapahtuvan, jos optimi on matalampi. Tämä merkitsee, että lämpimän veden lajit tulevat houkutelluksi koko vuoden ajan, kun taas kylmän veden lajit houkuttuvat kylmänä vuodenaikana, mutta karkottuvat kesäaikaan. Tämä malli on suuressa määrin ollut kattava. Veden lämpiäminen vaikuttaa lajikoostumukseen eniten Ruotsin länsirannikolla, jossa sekä lämpimän että kylmän veden lajit ovat vahvasti edustettuina matalassa vedessä. Itärannikolla ja maakeassa vedessä hallitsevat voimakkaasti matalia vesiä jo luonnonoloissa lämpimän veden lajit.

Havaittuja poikkeuksia teoreettisesta mallista ovat aiheuttaneet muuttunut syntyvyys päästöalueella, suhtautuminen virtaustekijään sekä erityiset hydrografiset olosuhteet. Virtausten merkitys on purkupaikan lähellä usein tärkeämpi kuin lämpötilan ja vaikutus voi olla lajista riippuen joko myönteinen tai kielteinen.

Suurin osa ruotsalaisista kalalajeista on enemmän tai vähemmän pohjaan rajoittuneita ja joutuu siten kosketuksiin jäähdytysveden kanssa etenkin siellä, missä tämä saavuttaa pohjan. Ruotsalaisissa voimalaitoksissa tämä tapahtuu suhteellisen pienillä alueilla. Veden pintakerroksissa liikkuviin kaloihin voi vaikutus tuntua melko suurilla alueilla. Määrällisesti tärkeimmät näistä lajeista esiintyvät parvina, minkä takia suuret kalamäärät joutuvat vaikutukselle alttiiksi. Silakan houkutte-

lua vähäisin ylilämpötiloihin on harjoitettu talvella ja aikaisin keväällä Oskarshamnin ja Forsmarkin laitoksissa ja tiettyinä vuosina ovat kalat kuteneet huomattavasti päästöalueilla.

2.3 Energiankäyttö

Koska lämpötila ohjaa aineenvaihdunnan nopeutta, vaikuttaa lämmin vesi siinä olevien kalojen ravinnonottoon ja energiankäyttöön, esim. kasvuun. Vaikutuksen suuruus riippuu luonnollisesti lämpötilan tasosta ja vaikutusajasta. Ensimmäisenä elinvuotenaan viettävät monet, myös kylmän veden lajit jäädytysveden vaikutuksen alaisilla alueilla pitkähköjä aikoja.

Pienikin, esim. yhden asteen lämpötilankohotus, lisää ahvenenpoikasen kasvua selvästi ja parantaa säilyvyyttä. Yleisesti ottaen pitää lämpimän veden lajeja, esim. kuhaa, suosia enemmän kuin kylmän veden lajeja kuten silakkaa ja madetta. Ensimmäisen kesän poikasiin tuskin kohdistuu ollenkaan negatiivisia vaikutuksia; useimpien lajien aikaisilla kehitysvaiheilla on korkeat lämpötila-optimit ja jos optimilämpötilat ylitetään, voi kala jättää lämpimän veden.

Forsmarkin ja Oskarshamnin laitosten päästöalueilla itärannikolla kasvaa ahvenenpoikanen noin 5 kertaa suuremaksi kuin normaalisti 1. vuotena (kuva 2). On osoituksia siitä, että nämä poikaset, joilla on korkea säilyvyys, ovat näkyvästi vahvistaneet ahvenkantaa myös lämmenneiden alueiden ulkopuolella (kuva 3). On luultavaa, että vaikutus rekrytointiin on saman tapainen myös muilla lajeilla. Silakan kohdalla voivat vaikutukset olla huomattavat johtuen edellä mainitusta houkuttumisesta lämpimään veteen kudulle. Hyvin intensiivistä mädin laskemista pienille pinta-aloille kompensoi kuitenkin epäedullisesti se, että suurin osa mätiä kuolee hapenpuutteen; tätä on havaittu Oskarshamnin laitoksen päästöjen läheisyydessä. Jäädytysveden nettovaikutusta silakan rekrytointiin ei ole vielä selvitetty.

Kriittisen ensimmäisen vuoden jälkeen ovat vaikutukset kalan energiankäyttöön ekologisesti merkityksellisiä varsinkin lämpimien vesien kaloilla. Itärannikon laitosten läheisissä vastaanottovesistöissä on parantunutta kasvua havaittu ahvenella (kuva 4), Forsmarkin Biotestjärvenessä myös muilla lajeilla. Energiankäytön eri osatekijöistä on tehty laajempia tutkimuksia vain Biotestjärven ahvenesta. Monet kaloista saavuttavat täällä sukukypsyyden paljon aikaisemmin kuin normaalisti, koiraat joskus jo ensimmäisenä kesänä ja poikkeavan pienikokoisina. Näiden nuorten kalojen energiasisältö on hyvin alhainen talvella, mistä seuraa korkeaa kuolleisuutta. Tämä perustuu siihen, että ahven ei syö vuorokauden pimeänä aikana. Niinpä ravinnonotto on vähäistä myös lämpimässä vedessä myöhäissyksyllä ja talvella samalla kun

hengitys on voimakasta. Samanaikaisesti kuluttaa solumien tuotanto paljon energiaa. Vanhemmat kalat ovat sopeutuneet tilanteeseen vähentämällä solumien määrää.

2.4 Sairaudet

Näkyvin sairausongelma ruotsalaisissa jäädytysvesialtaissa on luonteeltaan fysikaalinen. Sen aiheuttaa kaasujen ylikyllästys, johon nopea lämpötilan kohoaminen voimalaitoksessa antaa alkusysäyksen. Ylikyllästys saa aikaan sen, että kaasukuplat, jotka etupäässä koostuvat tyvestä, estävät verenkierron, nk. kaasukuplatauti eli sukeltajantauti. Sitä on havaittu monilla lajeilla, mutta herkkyyks vaihtelee lajeittain voimakkaasti. Pinnalla uiva kala on eniten alttiina taudille. Barsebäckissä Öresundin lähellä kuolee vuosittain muutamia tonneja nokkakaloja (Belone belone) muutamien kevätviikkojen aikana ja Oskarshamnin laitoksessa on silakkaa tiettyinä vuosina sairastunut runsaasti. Sairaus on edelleen muodostanut suuren ongelman lohikalojen kassikasvatuksessa Forsmarkin ja Oskarshamnin laitoksissa.

3 JÄÄHDYTYSVESIEN HYÖDYNTÄMINEN

3.1 Periaatteet

Lauhdevoimaloilla on siis kuten muillakin jäädytysveden käyttäjillä joukko erilaisia vaikutuksia kalakantoihin. Koska lämmön saanti on usein biologista toimintaa rajoittava tekijä pohjoisilla vesialueillamme, voivat nämä vaikutukset olla myös positiivisia. Esimerkiksi menestyksekkään lisääntymisen mahdollisuudet ovat useimmilla lajeilla voimakkaasti sidoksissa lämpötilaan, minkä vuoksi jäädytysveden vastaanottovesistöistä voi tulla tärkeitä kutu- ja poikasten kasvualueilta. Aikaisemmassa suunnittelussa otettiin kuitenkin pelkästään huomioon mahdollisuudet minimoida jäädytysveden käytön negatiivisia vaikutuksia. Eniten tehtiin työtä veden oton ja päästöjen muotoilun ja paikallistamisen kanssa. Perusperiaatteina oli sijoittaa sisäänotto niin, että voitiin välttää suurimpia kalanmenetyksiä ja minimoida pinta-ala, jota lämpiäminen koskee.

Tämän päivän paremmilla tiedoilla tulisi olla mahdollista muuttaa tätä strategiaa. Päästöpuolen toimenpiteiden avulla pitää ainakin voida nostaa tuotantoa määrällä, joka vastaa tappioita veden sisäänotossa. Tavoite tulee kuitenkin asettaa korkeammalle, ja tulevaisuudessa pitää jäädytysveden käytön nettovaikutuksena olla voimakkaamat kalakannat ja parempi kalastus; jotain, mikä radikaalisti erottaisi tämäntyyppisen teollisuuden kaikesta muusta vesistöjä kuormittavasta yritystoiminnasta.

Lämpötilan yleinen merkitys kalanpoikasten eloonjäämiselle helpottaa jäädytysveden hyväksikäyttöä kalata-

loudessa. Suuria määriä poikasia voidaan tuottaa kohtalaisen pienillä pinta-aloilla ja sitämukaa kun ne kasvavat, ne voivat vaeltaa pois ja käyttää hyväkseen ympäröivien vesialueiden ravintovaroja.

Hehtaari kutakuinkin tuottavaa vesialuetta voi tuottaa kalaa vuosittain 100 - 200 kg, josta runsas puolet normaalisti muodostuu alle yksivuotiaista poikasista. Lauhdeveden vaikutusalueilla lisääntyy tuotanto ilman erityisiä toimenpiteitä huomattavasti, ehkä kaksinkertaiseksi, ja nuorten kalojen osuus kasvaa. Meitä erityisesti kiinnostavilla lajeilla tapahtuu rekrytointi 1 - 5 g:n kokoisena. Kalojen lukumäärä, joita voidaan tuottaa ilman pitkälle meneviä manipulaatioita, on siis suuruusluokkaa 100 000 hehtaarilla. On varmasti mahdollista sopivien panostusten avulla saavuttaa huomattavasti korkeampia tuotantolukuja. Jäähdytysvesivirrassa kulkeutuu eläinplanktonia, joka suuressa määrin säilyy hengissä läpi laitoksen menevän reitin. Jos voitaisiin löytää keinoja hyödyntää tätä vuota kalanpoikasten ravintona, olisi hallussamme jättimäinen tuotantopotentiaali.

Jäähdytysveden käytöstä käyty keskustelu tulee siis suunnata varsinkin mielenkiintoisten lajien rekrytoinnin vahvistamiseen. Lajeja valittaessa pätevät seuraavat kriteerit:

1. Lajin rekrytoinnin ja tuotannon täytyy ko. alueella olla ensisijaisesti lämpötilatekijän rajoittama, ei ravinnonsaannin.
2. Lajin täytyy olla kiinnostava ammatti- tai vapaa-ajan kalastuksen kannalta.
3. Lajilla tulee olla korkea optimilämpötila ei vain poikasena, vaan myös saaliskoossa. Nopeasti kasvavan kalan houkuttuminen jäähdytysveteen riemastuttaa paikallisia kalastajia.

Lajit, joita nykytilanteessa erityisesti pidämme keskustelun arvoisina ovat kuha, piikkikampela, ankerias, ahven, hauki, lahna ja -meriympäristössä - myös osteri ja hummeri.

3.2 Toimenpiteet

Monet luonnostelemistamme ajatuksista vaativat perustavaa tutkimusta, ennen kuin niitä voidaan soveltaa vastaanottovesistöihin. Mielenkiintoisten lajien rekrytointiprosessiin vaikuttavat ohjausmekanismit ovat useimmissa tapauksissa vajavaisesti tunnettuja, ja ensisijaisesti tärkein tehtävä on selvittää toimivat rekrytointimallit. Sellaisen olemme hiljattain muodostaneet ja kokeilleet sitä ahvenelle, ja koska monien muiden lajien voidaan odottaa reagoivan ainakin jokseenkin samalla taval-

la, voidaan mallia soveltaa esimerkiksi kuhaan kirjallisuustietouden ja laboratoriokokeiden avulla.

Ideamme käytännön kalanhoidosta/ekstensiivisestä kalaviljelystä voidaan koota yhteen kuvan 5 avulla. Kolmio on maantieteellinen symboli. Kärki edustaa härkejä, alaita ym. etenkin poikastuotantoa varten, joita pidetään päästöpaikan läheisyydessä, mahdollisesti maalla. Vedenvirtauksen säätelyn avulla tai härkejä siirtämällä voidaan lämpötilaa säädellä. Seuraava maantieteellinen taso edustaa vastaanottovesistöä, s.o. aluetta, jossa korkeita lämpötiloja tavataan. Kolmion tyvi edustaa ulkopuolella olevaa, ulospäin rajoittamatonta etäisalueta. Pitkin kolmion sivuja on sijoitettu luonteeltaan "biologiset" ihmistoiminnot ja niiden sisällä vapaana elävien kalojen toiminnot. Kolmion oikealla puolella on esitetty mahdollisia, luonteeltaan "fysikaalisia" ("ekoteknisia") toimenpiteitä. Nämä ovat tässä yhteydessä tärkeimmät; ne muodostavat edellytyksen menestykselle biologisille panostuksille.

Paikallistamisella on tietysti perustavaa laatua oleva merkitys mahdollisuudelle toteuttaa erilaisia toimenpiteitä.

Vedenotto- ja päästötekniikka on välttämätön lisä paikallistamisessa. Päästön pitää luonnollisesti johtaa vesi oikealle osalle aluetta. Virtausnopeuden tulee olla alhainen, jotta poikaset eivät kulkeudu pois. Vedenotto pitää sijoittaa niin, että se ei imaise sisään päästöalueella syntyneitä poikasia. Päästön ja vedenoton sijoitus pystysuorassa tasossa voidaan myös hyödyntää, erikoisesti syvillä rannikoilla, luomaan sopivasti lämmitettyä pintavettä, jossa on vähän virtauksia.

Biotooppiparannuksella tarkoitetaan patojen rakentamista ja salmien leventämistä tarkoituksena ohjata jäähdytysveden kulkua.

Lämmönkulun säännöstelyllä tarkoitetaan rakennelmia, joilla saadaan aikaan tilapäistä vaihtelua lämmönkulussa. Tässä voidaan toisaalta kuvitella kahta erilaista, mieluiten säädettävää päästöä, toisaalta puomeja tai patoluukkuja vastaanottovesistössä. Tarkoitus on optimoida lämpötilaolosuhteet poikasten ensisijaisilla kasvupaikoilla.

"Ekotekniset" toimenpiteet tähtäävät nuorten kalojen voimakkaasti parantuneeseen kasvuun ja säilyvyyteen. Poikaset voivat käyttää hyväkseen tuotantoa etäisaluella ja vahvistaa sen kantoja (ks. kolmion sisäosa).

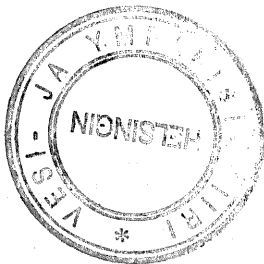
"Biologiset" toimenpiteet tuotannon edistämiseksi ovat etenkin enemmän tai vähemmän intensiivinen viljely ja poikasten istuttaminen. Uusia ja halpoja viljelymenetelmiä taloudellisesti ja biologisesti mielekkäille lajeille.

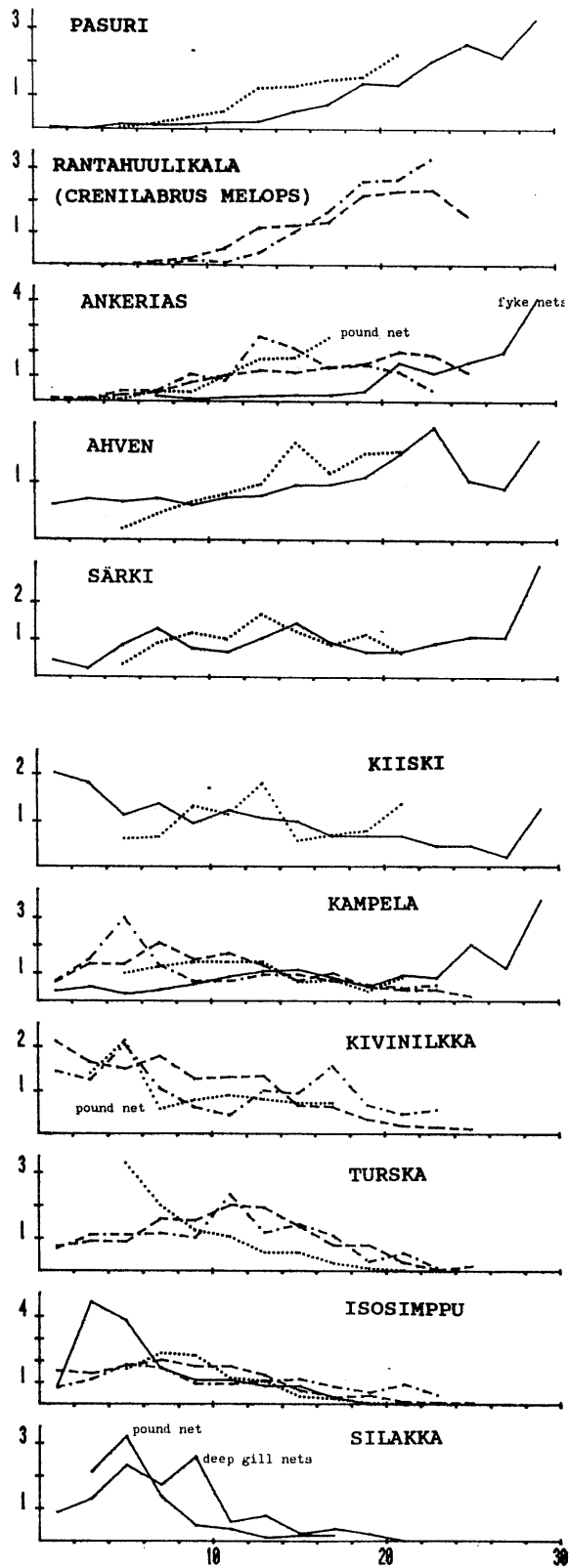
le tulee kehittää. Tietyissä tapauksissa voi olla perusteltua istuttaa poikasia, jotka on tuotettu tai pyydystetty muualla; etenkin tämä koskee ankeriasta, joka voi lisääntyä vain Sargassomerellä.

3.3 Tutkimus ja kehitys

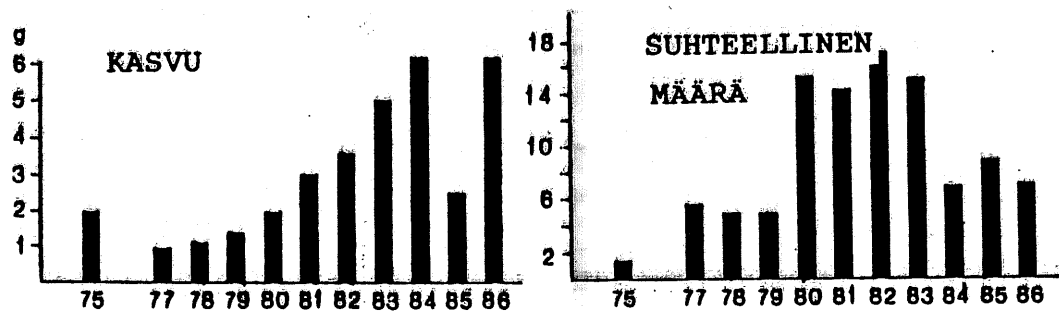
Tänä vuonna on tarkoituksenamme käynnistää huomattava tutkimusohjelma, joka tähtää yllä kuvatuille toimenpiteille välttämättömän tietopohjan luomiseen. Ohjelman rahoittavat ruotsalaiset ydinvoimayritykset ja Imatran Voima Oy. Se suunnataan pääasiassa vapaana eläviin kaloihin, mutta myös vastakuoriutuneiden poikasten kasvatamiseen häkeissä. Kuha, piikkikampela ja ankerias ovat etusijalla.

Jäähdytysveden tulevaa hyväksikäyttöä tulee toivottavasti leimaamaan pohjoismainen yhteistyö. "Pohjoismainen yhteyselin jäähdytysveden vastaanottovesistöjen toimenpiteitä varten" muodostettiin 1987. Sen tarkoitus on karnavoida koottua pohjoismaista tietoa tutkijoilta voimayrityksille, viranomaisille, kalastajille ja poliitikoille sekä aktiivisesti avustaa käytännön toimenpiteissä. Yhteyselimen jäsenet ovat Richard Hudd, Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, Vaasa; Ivar Haugen, Norsk Institut for Vannforskning, Oslo ja Erik Neuman, Statens Naturvårdsverk, Öregrund.

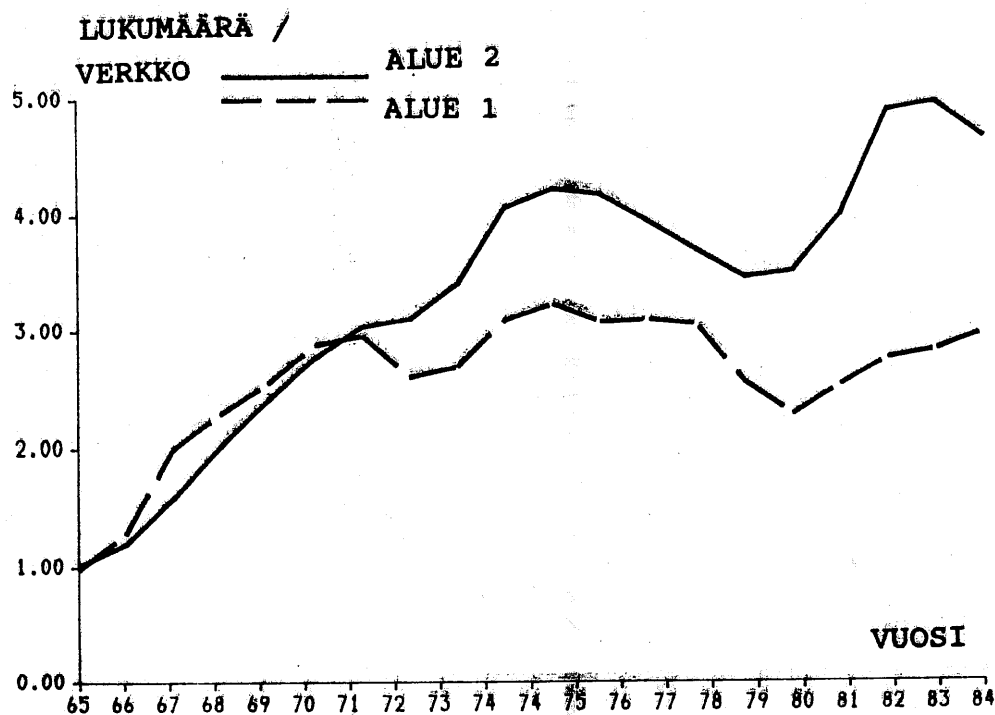




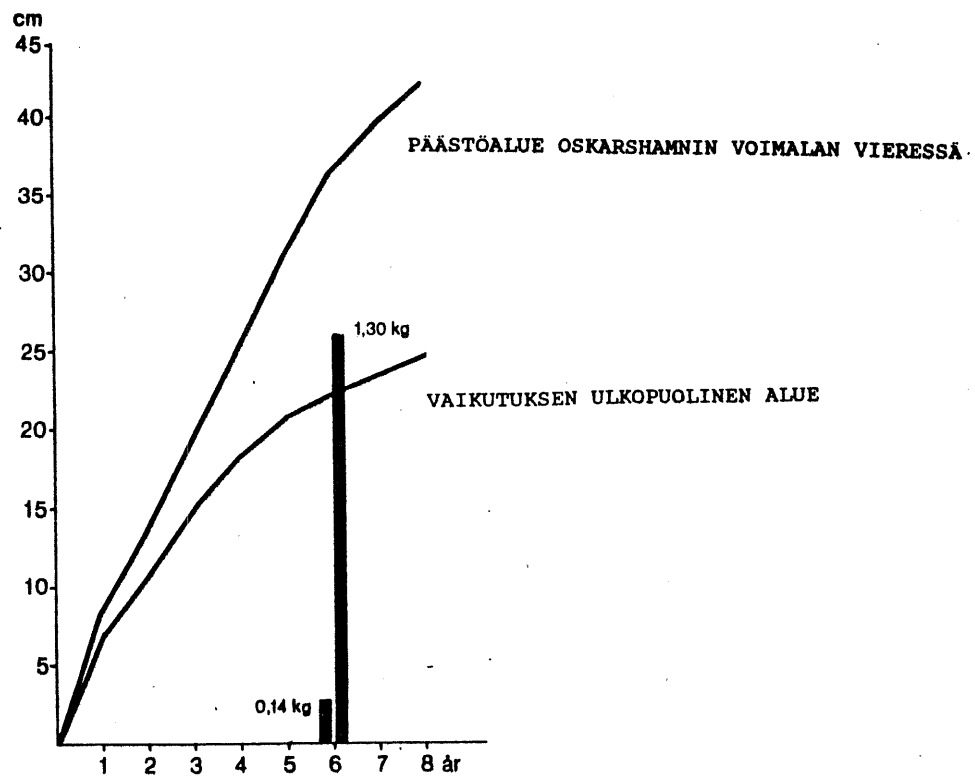
Kuva 1. Saaliin jakautuminen lämpötilaskaalalle Oskarshamnissa ja Ringhalsissa. Saaliit on suhteutettu kunkin aineiston keskimääräiseen saaliiseen (=1)



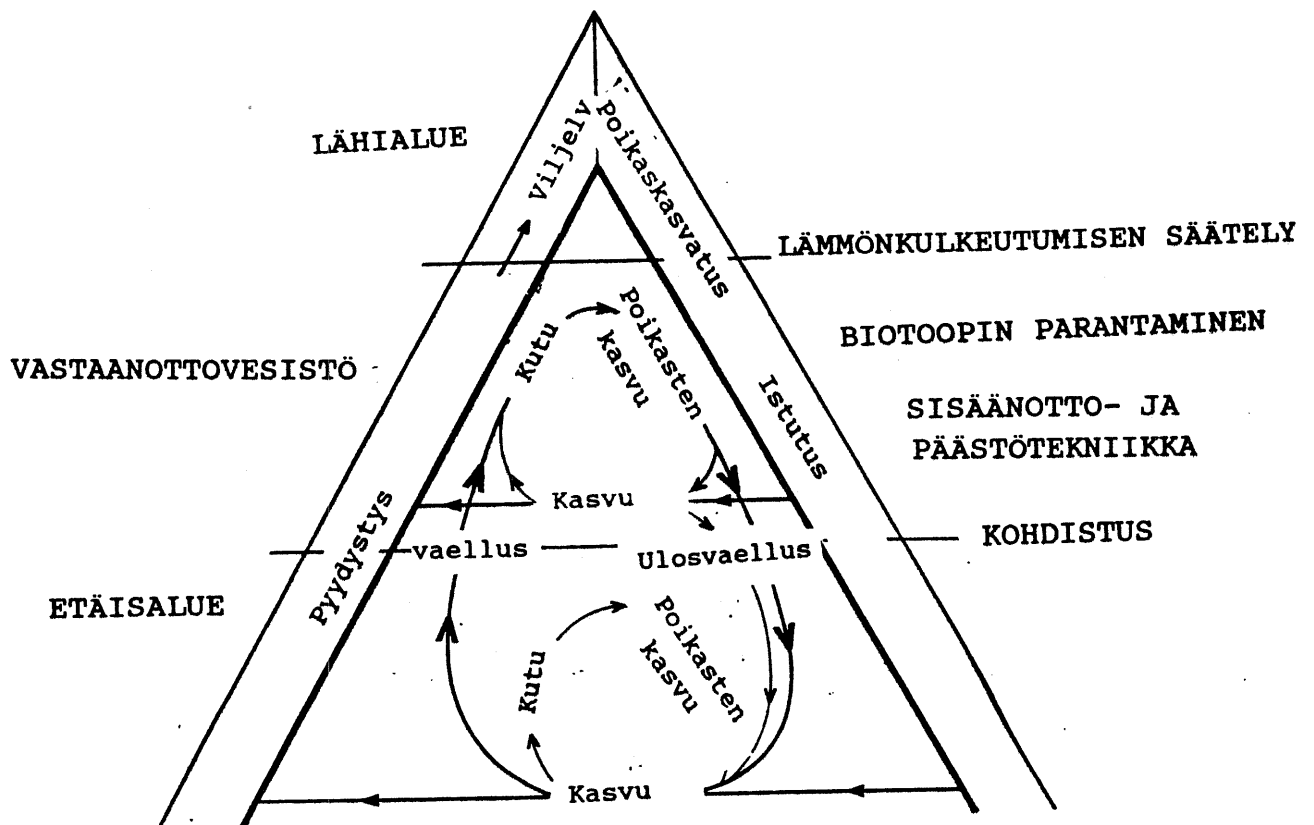
Kuva 2. Vuodenikäisen ahvenen kasvu ja suhteellinen tiheys Biotest-järvessä. Lämpötila on ollut 5-10 °C normaalia korkeampi kesästä 1980.



Kuva 3. Ahvensaalis Oskarshamnin voimalan lähistöllä. Voimalan aloitettua 1972 ovat ahvenkannat alueella 2 kehittyneet paremmin kuin alueella 1. Kumpaakaan aluetta ei lämmitetä, mutta alue 2 sijaitsee lähellä päästöaluetta.



Kuva 4. Ahvenen kasvu Oskarshamnin voimalan alueella.



Kuva 5. Ekstensiivisen kalanviljelyn periaatteet.

Leena Nurmento

HAAPAVEDEN TURVEVOIMALAITOKSEN JÄÄHDYTYSVESIEN VESISTÖVAIKUTUKSET

1 H A A P A V E D E N V O I M A L A I T O S

Valtioneuvoston periaatepäätöksessä 13.11.1986 1990-luvun alkupuolen sähköhuollon turvaamiseksi esitettiin ensimmäisen turvelauhdutuslaitoksen rakentamista Haapavedelle. Laitoksen sijoittamista Haapavedelle perusteltiin mm. työllisyysyllä ja sillä, että alueella on runsaasti turvetuotantoa varten valmisteltuja alueita, joiden hyödyntäminen muulla tavalla olisi ollut epätodennäköistä. Rahoitus- ym. tuen järjestyttyä - ilman valtiovallan tukea ei turvetta käyttävän lauhdutuslaitoksen rakentaminen ole liiketaloudellisesti kannattavaa - Imatran Voima Oy teki rakentamispäätöksen.

Voimalaitoksen rakennustyöt alkoivat keväällä 1987 ja laitos valmistuu suunnitelmien mukaan vuoden 1989 lopussa. Voimalaitos rakennetaan Haapaveden Eskolanniemeen Haapajärven rannalle Pyhäjoen laskukohdan pohjoispuolelle (kuva 1).

Voimalaitoksen tarkoituksena on tuottaa sähköä valtakunnan verkkoon. Haapavedellä ja sen lähikunnissa ei ole siinä määrin lämmöntarvetta, että lämmön ja sähkön laajamittainen yhteistuotanto olisi mahdollista. Haapaveden kunnan kanssa on kuitenkin sovittu pienen kaukolämpömäärän tuottamisesta kunnan tarpeisiin. Laitoksen polttoaineteho on 400 MW ja nettosähköteho 155 MW. Laitoksen todennäköisin käyntiaika on syyskuusta toukokuuhun, mutta myös kesäaikaiseen käyttöön on varauduttu.

Turpeenkulutus on 2,4 - 2,6 milj.m³ vuodessa. Tukipolttoaineena käytetään öljyä.

2 V O I M A L A I T O K S E N J Ä Ä H D Y T Y S - J Ä R J E S T E L M Ä

Voimalaitoksen jäähdytysjärjestelmä on perustuu vesistöjäähdytykseen. Vesistöjäähdytys on Suomen olosuhteissa osoittautunut sekä teknillisesti että taloudellisesti ainoaksi järkeväksi ratkaisuksi varsinkin, kun vesistöjäähdytyksen ympäristövaikutukset ovat olleet vähäiset. Muut vaihtoehdot, jäähdytystornit ja -altaat, ovat erittäin kalliita. Lisäksi niillä on omat haittavaikutuksensa.

Voimalaitos tarvitsee täydellä teholla lauhduttimiensa jäähdytykseen jäähdytysvettä noin $6,3 \text{ m}^3/\text{s}$. Lämpötilan nousu on noin $7,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Voimalaitoksen tarvitsema jäähdytysvesi otetaan Pyhäjoesta ja puretaan Haapajärveen (kuva 1).

Pyhäjoen virtaama on ajoittain pienempi kuin laitoksen tarvitsema jäähdytysvesimäärä. Haapajärvi on verrattain pieni ja rehevä järvi. Muun muassa näiden seikkojen vuoksi voimalaitoksen jäähdytysvesijärjestelmän suunnittelu oli vaativa tehtävä ja suunnittelun tueksi tehtiin mallikokeet.

Jäähdytysveden otto Pyhäjoesta ja purku lämmenneenä Haapajärveen osoittautui mallikokeessa toimivaksi ratkaisuksi. Jälleenkierron vaikutus ottoveden lämpötilaan oli merkityksetön niissäkin tapauksissa, joissa jäähdytysveden määrä ylittää Pyhäjoen virtaaman ja lämmintä vettä virtaa "ylävirtaan" ottopaikalle.

Luonnontilaa vastaavaa virtausta tutkittaessa todettiin, että Pyhäjoki virtaa pääosin suoraan järven eteläosan läpi, jolloin veden vaihtuminen on puutteellista. Tämä näkyi myös järvellä tehdyissä virtaustutkimuksissa. Mallikokeissa todettiin, että jäähdytysvesi kannattaa suunnata kohti järven keskiosaa. Tällä tavoin saadaan järven pinta-ala käytettyä hyväksi ja järvi siirtämään tehokkaasti ylimääräistä lämpöä ilmakehään. Näin vältetään Pyhäjoen merkittävältä lämpenemiseltä ja samalla Haapajärven veden vaihtuminen paranee.

3 J Ä Ä H D Y T Y S V E S I E N V A I K U T U K S E T V E S I S T Ö Ö N

3.1 VESISTÖN LÄMPÖTILAT JA JÄÄPEITE

Avovesiaikana esiintyisi mallikokeen ja sitä tarkentavien laskelmien perusteella keskimääräisessä tilanteessa yhden asteen lämpötilannousua noin 1 km^2 alueella jäähdytysveden purkupaikan edustalla, kahden asteen nousua noin $0,5 \text{ km}^2$ ja kolmen asteen nousua noin $0,2 \text{ km}^2$ alueella (kuva 2). Lämmin vesi kulkeutuu tuulen suuntaan. Lämminvesikerroksen paksuus on noin metri.

Talvella jäähdytysvesi painuu järven pohjalle jäähdyttyään kolmeen - neljään asteeseen. Järven syväne täyttyy, minkä jälkeen vesi virtaa järven matalaan länsiosaan ja edelleen Pyhäjokeen. Veden lämpötila laskee veden sekoittuessa Pyhäjoesta tulevaan kylmempään veteen ja toisaalta lämmön siirtyessä sulien alueiden kohdalla vedestä ilmakehään. Lämmön ilmakehään siirtyminen riippuu ilman lämpötilasta. Keskimääräisenä talvena muutaman asteen kymmenyksen lämpötilannousua on laskelmien mukaan havaittavissa Haapajärven saakka.

Jäähdytysveden purkupaikalla pysyy jäättömänä noin 20 - 50 ha alue. Sulaa ja heikon jään aluetta esiintyy järven länsiosassa ja edelleen Pyhäjoessa aina Haapajärven koskelle saakka. Kuvassa 3 on esitetty keskimääräinen jäätilanne Haapajärven voimalaitoksen käydessä. Jääpeitteen aika lyhenee Haapajärven voimalaitoksen käydessä.

Jäähdytysvesien johtaminen tulee vaikeuttamaan Haapajärven talvista käyttöä.

3.2 VEDEN LAATU JA KALATALOUS

Voimalaitosten jäähdytysvesien johtamisesta ei suomalaisilla voimalaitoksilla ole todettu aiheutuneen merkittäviä haitallisia muutoksia vesistössä.

Haapaveden voimalaitoksen jäähdytysvesien vesistövaikutukset kohdistuvat ensi sijassa järven happi- ja lämpötalouteen ja tätä kautta välillisesti myös muihin vedenlaatutekijöihin.

Järven happitalouden kehittymisen ennustamiseksi on vesija ympäristöhallituksen hydrologian toimistossa tehty happi- ja lämpötilamalli. Käytetty malli oli FINNECO.

Jäähdytysvedet vaikuttavat järven talviaikaiseen happitaseeseen seuraavasti

- jäähdytysvedet lyhentävät jääpeitteistä aikaa ja lisäksi huomattava osa Haapajärvestä pysyy sulana läpi talven, jolloin ilmasta tulee merkittävää happitäydennystä
- jäähdytysvesivirtaaman aiheuttama sekoitus tehostaa hapen siirtymistä pohjalle
- vesimassan lämpötilan kohoaminen kiihdyttää hajotustoimintoja.

Happimallin tulosten perusteella jäähdytysvesien aikaansaama hapetusvaikutus kompensoi kohonneen lämpötilan vaikutuksen. Järven talvinen happitilanne paranee huomattavasti erityisesti maaliskuussa. Kuvassa 4 on esitetty happimallilla laskettu happipitoisuuden muutos Haapajärven voimalaitoksen käydessä talven 1986 - 1987 tilanteessa.

Happitilanteen paranemisella on todennäköisesti myös edullinen vaikutus järven veden laatuun.

Haapajärvellä on kalatalouselvityksen mukaan lähes 200 kotitarve- ja virkistyskalastajaa. Myös kalansaalis on

tämänkaltaisten läpivirtausjärvien tapaan suurehko, noin 50 kg/ha. Kalastosta 98 % on lämmintä vettä suosivia lajeja. Lämpimien jäähdytysvesien johtaminen tulee mitä ilmeisimmin järven kalantuotantoa.

Jäiden heikkeneminen tulee haittaamaan talvikalastusta. Kalastustiedustelujen mukaan kalastus keskittyy kuitenkin avovesikauteen ja erityisesti kevätkutuinten kalalajien kutuaikaan touko-kesäkuuhun, joten haitta ei ole kovin merkittävä.

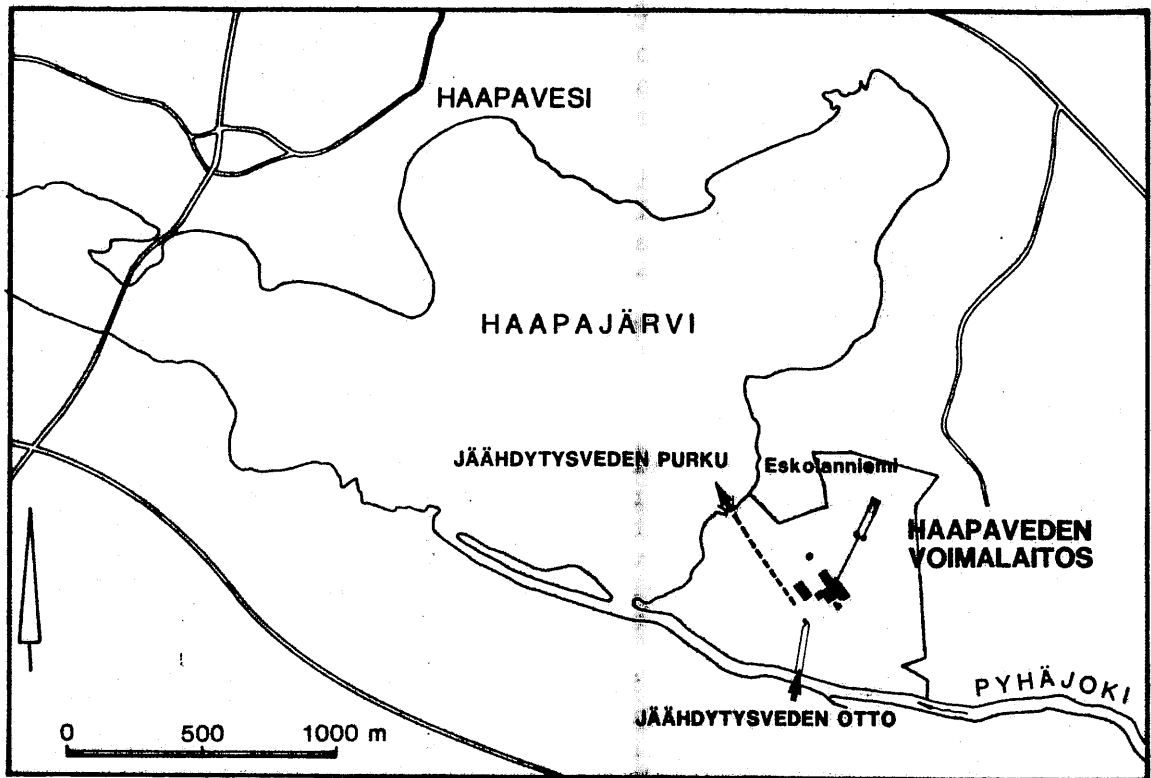
4 L Ä M M Ö N H Y Ö T Y K Ä Y T T Ö M A H D O L L I S U U D E T

Haapaveden voimalitoksen lämmön hyötykäyttömahdollisuuksia on selvitetty perusteellisesti sekä kunnan, että Imatran Voiman aloitteesta. Ainoa hyötykäyttömuoto, joka vähentäisi oleellisesti vesistöön johdettavan lämmön määrää olisi kaukolämpökäyttö. Haapaveden tapauksessa ei merkittävää lämmöntarvetta kuitenkaan ole.

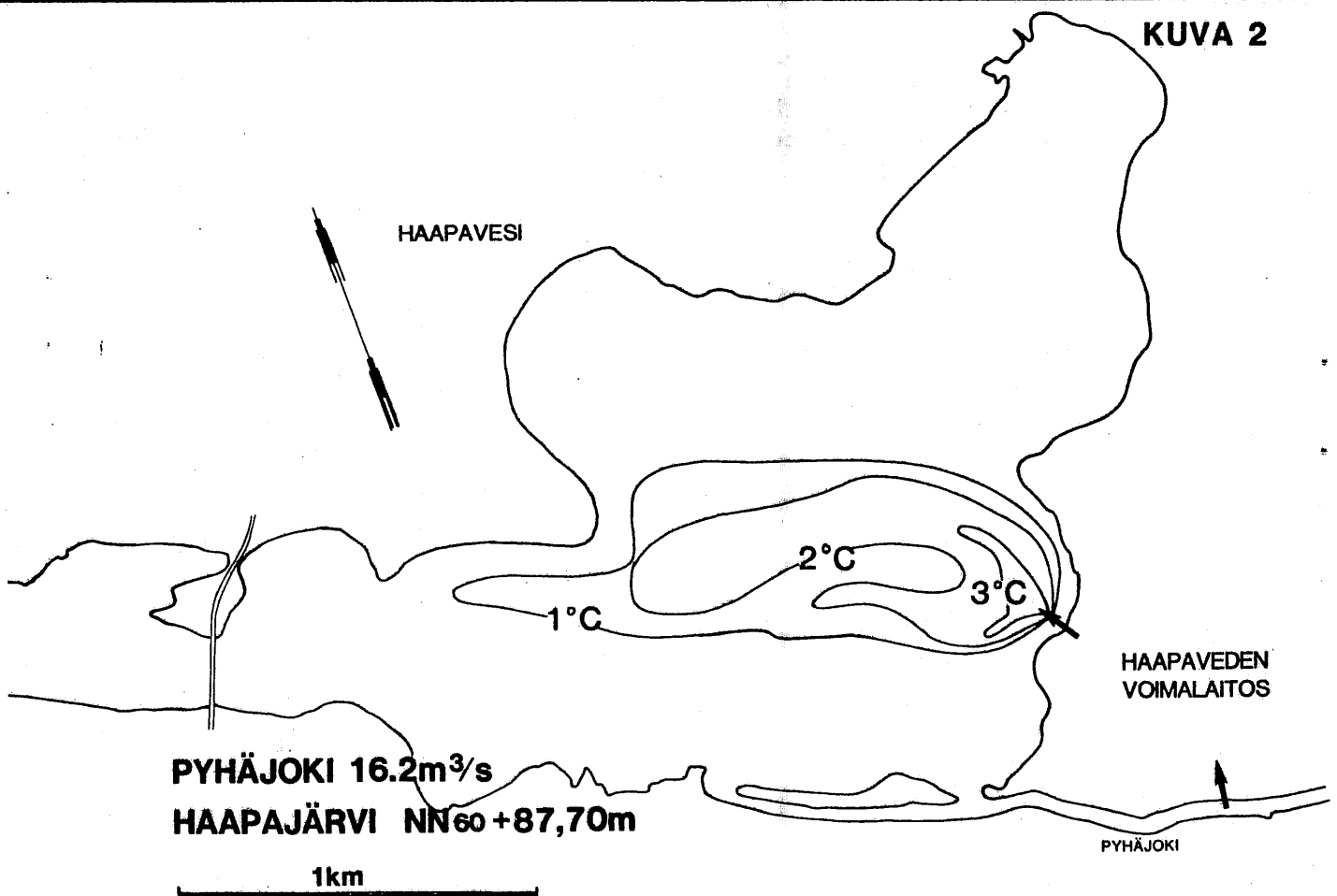
Jäähdytysveden sisältämää matala-asteista lämpöä voitaisiin käyttää vesiviljelyssä sekä kasvihuoneiden ja pelto-
maan lämmityksessä. Laajamittainen kalanviljely ei vesistön pienuuden vuoksi tule kysymykseen. Lasinalaisviljelyn tarpeet tulevat ilmeisesti hoidetuksi kunnan kanssa jo tehdyn lämmöntoimitussopimuksen perusteella.

Alkava yhteispohjoismainen, lämmön hyväksikäyttöön vesistöjen veden laadun ja kalataloudellisen tilan parantamisessa tähtäävä projekti tulee aikanaan antamaan arvokkaita viitteitä myös Haapajärven kalaston hoidon kehittämiseen.

KUVA 1

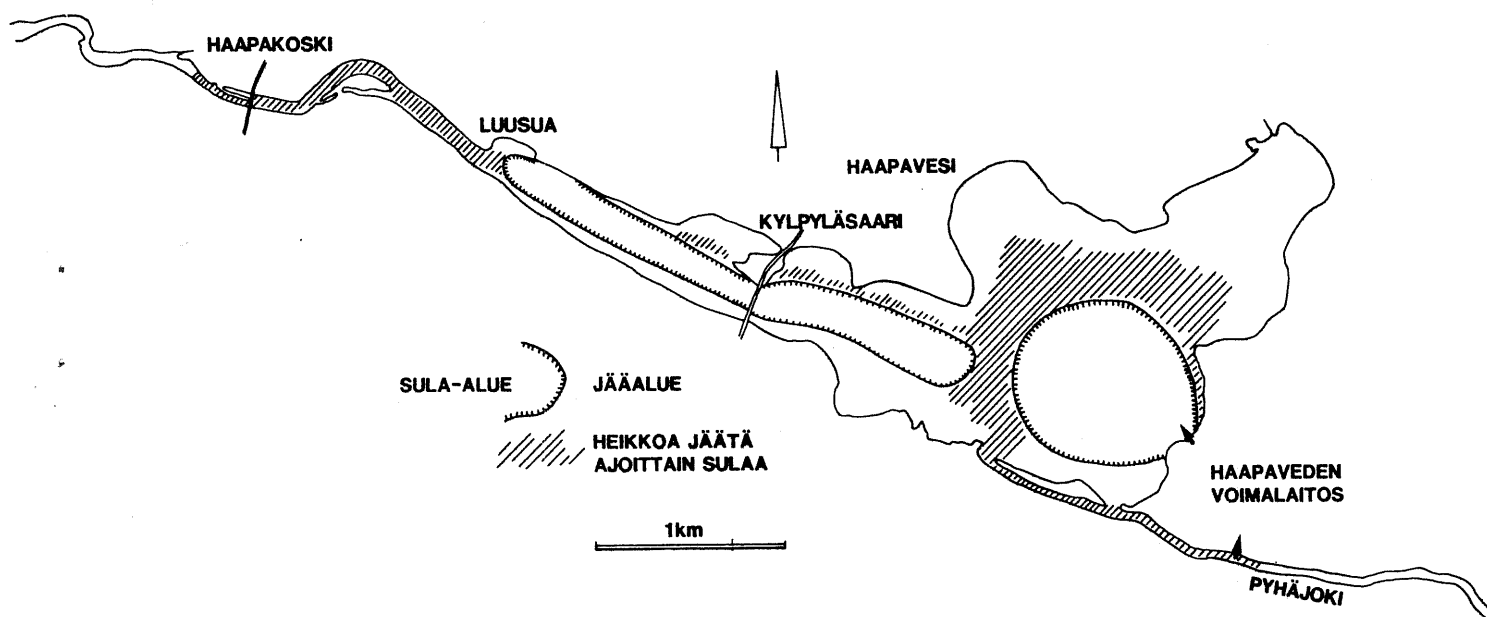


KUVA 2

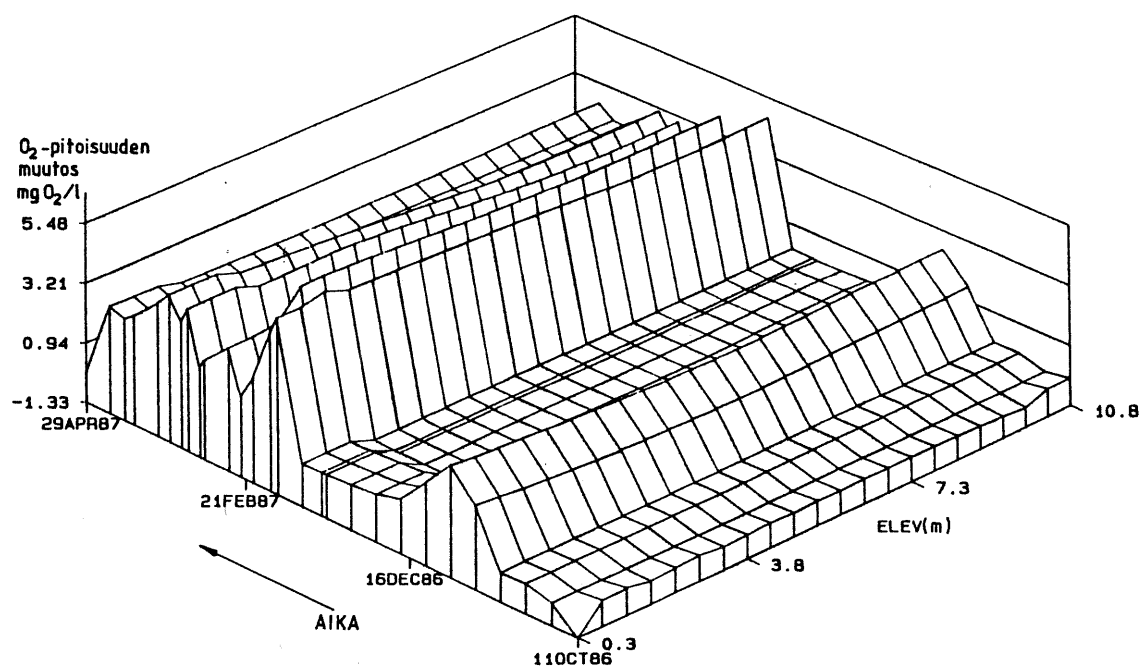


KUVA 3

ARVIOITU KESKIMÄÄRÄINEN JÄÄTILANNE



KUVA 4



Voimalaitoksen aiheuttama happipitoisuuden muutos Haapajärvessä talven 1986 - 1987 tilanteessa.
 FINNECO = mallilla laadittu ennuste (Huttula 1988).
 ELEV = korkeus (m) järven pohjasta.

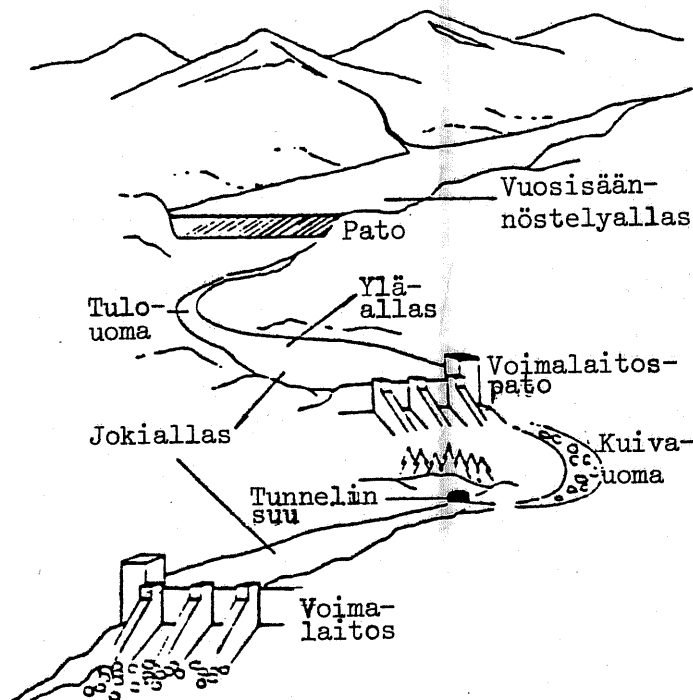
Adam P Gönczi

TAIMENEN HOITO VOIMALAITOSTEN YLÄALTAISSA

1 T A U S T A

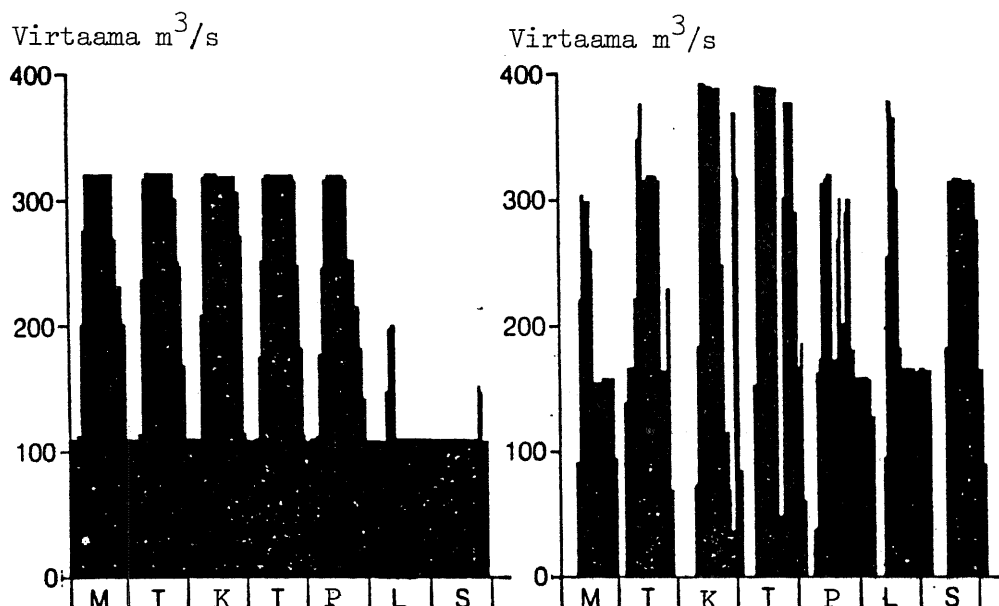
Suurin osa Ruotsin joista on rakennettu voimataloutta varten. Suurimmissa joissa on n. 160 voimalaitosta ja seurauksena tästä on yhtä monta ns. yläallasta.

Mikä sitten yläallas on? Useimmissa tapauksissa se on kahden voimalaitospadon välinen vesialue. Alimmasta padosta ylävirtaan vesipinta on paljon korkeammalla tasolla kuin ennen säännöstelyä ja leveys on paljon suurempi, joten tätä osaa nimitetään padotusosaksi. Tässä padotusosassa on pienempiä tai suurempia läpivirtauksia (juoksutuksen aikana) ja sanotaan joko läpivirtausaltaaksi tai jos altaan pääosassa vesi on enemmän tai vähemmän paikallaan, järvenkaltaiseksi altaaksi. Yläpuolinen osa kapenee usein ja tulee matalemmaksi, enemmän joen kaltaiseksi. Tätä osaa nimitetään suuosaksi (kuva 1).



Kuva 1. Periaatepiirros säännöstelystä joesta (Kuva "Kalan- hoito jokialtaassa" FAK:n loppuraportti, osa 1).

Jo vesipinnan vaihtelut altaassa aiheuttavat radikaaleja biologisia muutoksia. Myös voimalaitosrakentaminen muuttaa läpivirtausolosuhteita. Tämä tapahtuu osittain vuositasolla mutta myös viikko- ja vuorokausitasolla. Säännöstelyohjeet ovat erilaisia eri joille ja eri voimalaitoksille. Kuvassa 2 kuvataan Indalsjoen ja Lulejoen juoksutusohjeiden eroavaisuutta.



Kuva 2. Lyhytaikaissäännöstely minimijuoksutuksella Indalsjoessa Krångeden voimalaitoksella (vasemmalla) ja 0-juoksutuksella Lulejoessa Messaure voimalaitoksella (oikealla). (Kuva "Kalanhoito jokialtaassa" FAK:n loppuraportti, osa 1).

On luonnollista, että mitä voimakkaampi on säännöstely ja erityisesti, mikäli lisäksi on oikeus ns. 0-juoksutukseen sitä suurempi negatiivinen vaikutus on luonnolliseen jokieläimistöön, kun sekä veden nopeus että vesisyvyys vaihtelevat vuorokauden eriaikoina. Monessa altaassa vesipinta vaihtelee samalla tavalla kuin säännöstellyssä järvessä. Tämä aiheuttaa ranta-alueen erosioitumista.

Padot katkaisevat tärkeän aineen kulkeutumisen ja lisäävät pehmeiden pohjien osuutta kivipohjaisen eläimistön kustannuksella. Säännöstely vaikuttaa myös lämpötilaan; lämpötilan nousu keväällä myöhästyy, joten myös eräiden pohjaeläinlajien kuoriutumisaika siirtyy myöhempään ajankohtaan tai kokonaan estyy.

Samalla tapahtuu voimakas muutos sekä ravintoeläimistössä että kalastossa. Säännöstely koskee ensisijassa ns. suodattajia. Eräät suodattajaryhmät selviytyvät suosissa, missä on minimijuoksutus, kun ne taas puuttuvat paikoista, missä 0-juoksutus on sallittua. Suurin eroavaisuus voimalaitosaltaan ja luonnollisen joen välillä koskee lajirunsautta. Rakentamattomissa vesistöissä esiintyy keskimäärin noin kaksinkertainen määrä eläinryhmiä verrattuna rakennettuihin.

Kalasto muuttuu siten, että virtausta vaativat lajit, kuten taimen ja harjus vähenevät tai korvautuvat särjellä, ahvenella tai hauella.

2 K A L A N H O I T O D I A G N O S T I I K K A

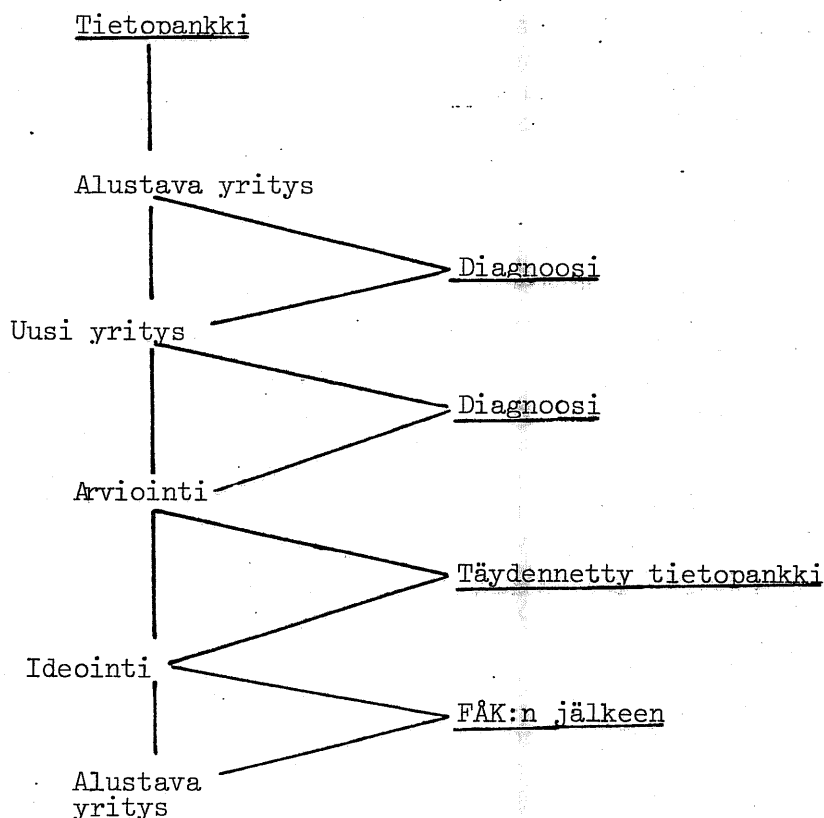
Lääketieteessä pidetään selvänä, että ennen lääkitystä, leikkausta tai muita toimenpiteitä tehdään diagnoosi (diagnos = selvittää). Tottakai myös kalabiologin tulee tehdä diagnoosi, joka voi olla enemmän tai vähemmän monimutkainen:

Onko järvi happamoitunut? Kyllä tai ei. Jos vastaus on kyllä, kalkitkaa järvi.

Esiintyykö nieriä järvessä ja siinä tapauksessa mikä laji?

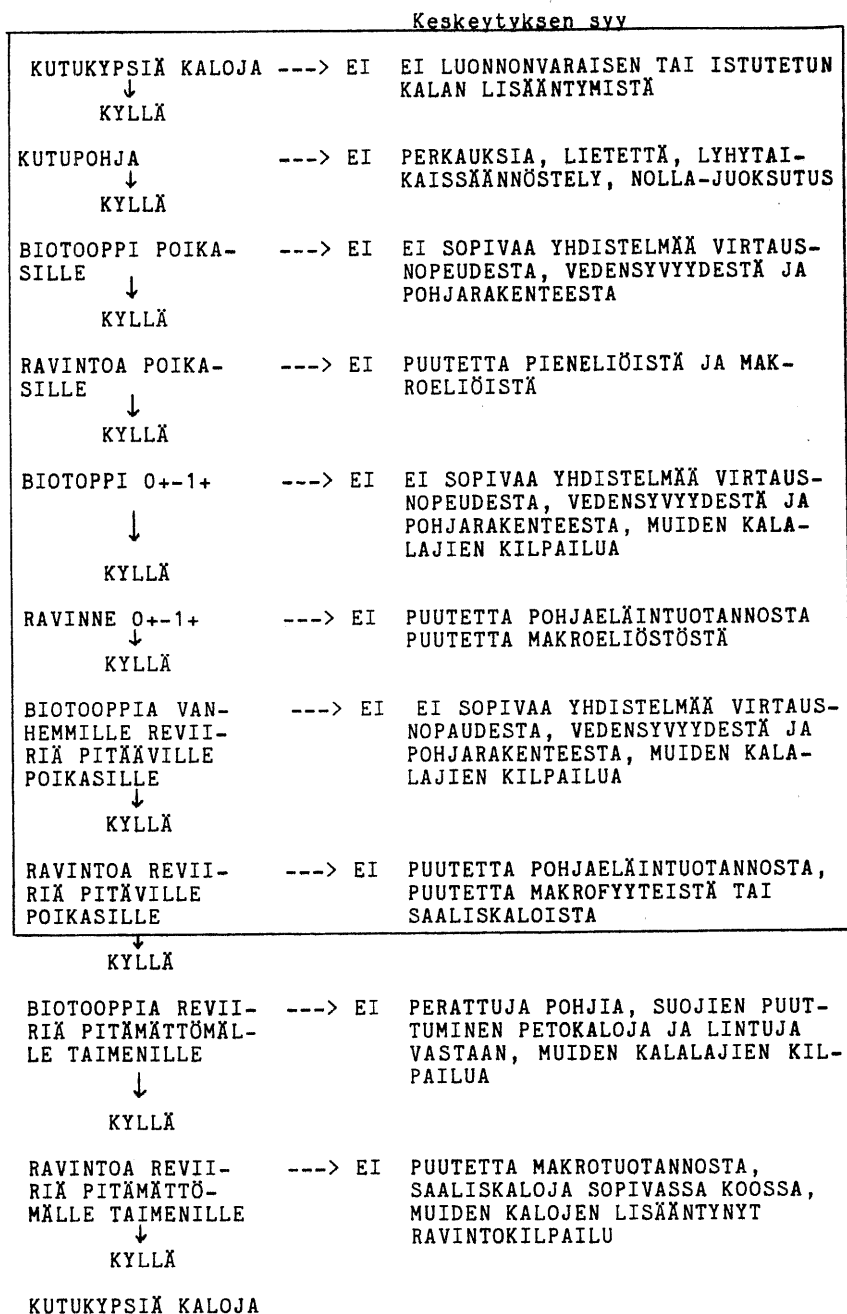
Onko tälle nieriälajille järvessä sopivia kutemispaiikkoja? Tavallista nieriää on istutettu, mutta kutemispaiikkoja ei ole. Rakentakaa kutemispaiikkoja 1-2 m syvyyteen kivistä läpimitaltaan 5-20 cm.

Kun projekti kalanhoitotoimenpiteet voimalaitosaltaassa (lyhennetty FÄK) alkoi, teimme kokemuspäisestti rakennetun tietopankin. Alla olevassa kuvassa 3 kuvataan työnkulkua n. 10 vuoden työssä.



Kuva 3. Työmalli FÄK:lle.

Ensimmäisten kokeilukertojen jälkeen tehtiin diagnoosi määrittelyäksemme, miksi ensimmäiset taimenistutukset antoivat niin huonoja tuloksia. Seuraavassa kuvassa 4 kuvataan diagnostisesti kaavio sovellettuna rakennetuille joille.

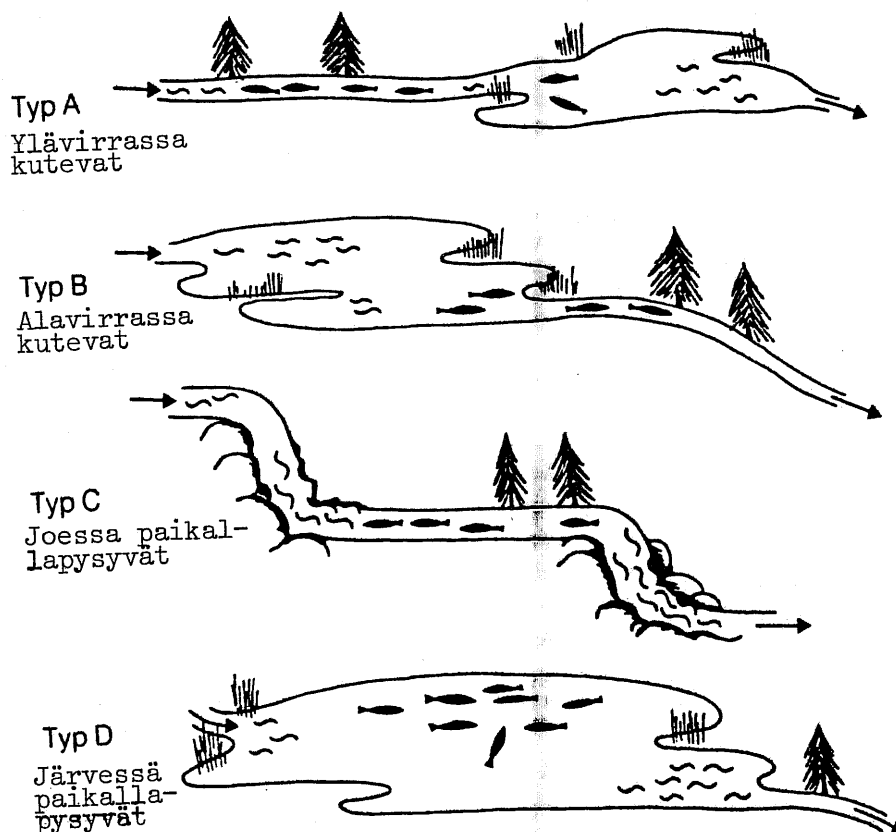


Kuva 4. Diagnostinen kaavio taimenen hoidosta säännöstellyssä joessa. Kalanistutus ei ole suositeltavaa kehystetyllä alueella. (Gönczi 1986).

3 TAIMENEN HOITO

Ensimmäiset voimalaitosaltaisiin 1960-luvulla suoritettut taimenistutukset 75-100 g poikasilla antoivat masentavan huonoja tuloksia (n. 5 % takaisinsaanti). Tällöin ei vielä ymmärretty käyttää eri taimenkantojen ominaisuuksia tulosten parantamiseksi.

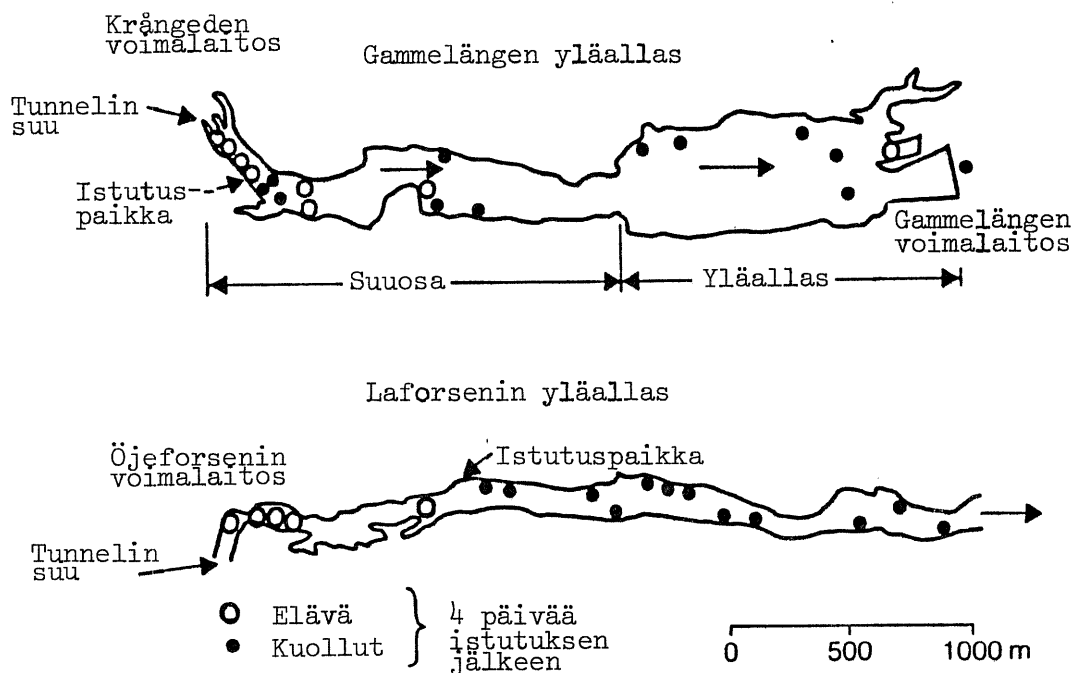
FÄK:n alustavissa kokeiluissa lähdettiin siitä oletuksesta, että epäonnistumiset johtuivat mm. haukien saalistuksesta, huonosta ravintotilanteesta ja yleisesti huonosta ympäristöstä vastaistutetuille kaloille. Sen tähden istutettiin 300-500 g taimenta. Diagnoosi osoitti osittain, että nämä isommat kalat antoivat hieman enemmän saalista, mutta myös että monet taimenet pyydystettiin kauempana joen alaosalla, ts. lähtivät vaeltamaan. Mm. telemtrin avulla suoritettut tutkimukset osoittivat taimenilla olevan koosta huolimatta selvä ja luonnollinen vaellusvietti, koska ne pitivät allasta virtaavana vetenä. Jakasimme taimenkannat neljään ekologiseen päälajiin vaellusviettinsä mukaisesti (kuva 5).



Kuva 5. Neljä ekologista taimenen peruslajia ottaen huomioon kutuvaelluksen ja kasvun (Kuva "Kalanhoito jokialtaassa" FÄK:n loppuraportti, osa 1).

Ennen uusia kokeiluja hankittiin virtaus- ja suvannossa paikallaan pysyvää taimenta toivossa, etteivät ne vaeltaisivat ulos altaasta. Saalis vaihteli n. 5 ja 40 % välillä. Tärkein parannus, telemetrin vahvistama oli, että paikallaan pysyvyys lisääntyi huomattavasti.

Kokeilujen seuraavassa vaiheessa aloitettiin rinnakkaisistutuksia, missä virtapaikoissa olevien taimenien sisaruspoikueet istutettiin säännösteltyihin altaisiin. Silloin löydettiin tärkeitä yhteyksiä hauen roolin ja eri juoksutusten tehojen välillä (0-juoksutus ja minimijuoksutus). Suuressa telemetriatutkimuksessa koskien merkittyjä haukia ja taimenta kahdessa voimalaitosaltaassa, jossa toisessa on 100 m³/s minimijuoksutus ja toisessa 0 m³/s todettiin, että mahdollisuus tulla haukien tapettavaksi on kaksinkertainen 0-juoksutusaltaassa verrattuna 100 m³/s (kuva 6). Tutkimus osoitti, että altaissa, missä on 0-juoksutusta, hauet oleskelivat ns. suuosassa noin 6 viikkoa yhteen menoon, kun taas toisessa altaassa harvoin kauemmin kuin 4 vuorokautta.



Kuva 6. Radiomerkittyjen taimenien selviytyminen Gammelängens voimalaitosaltaassa (minimijuoksutus 100 m³/s) ja Laforsensin voimalaitosaltaassa (0-juoksutus). (Kuva "Kalanhoito jokialtaassa" FÄK:n loppuraportti, osa 1).

Kokeet osoittivat myös, että järvimäisissä altaissa, missä on hyvin saatavissa saaliskalaa saavutettiin hyviä tuloksia myös ylävirtaan vaeltavilla taimenilla, jos ne painoivat vähintään 200 g istutusaikana.

4 SUOSITUKSIA

Kokeiluryhmä FÄK on suorittanut kalanistutuksia noin 23 000 merkityillä kaloilla voimalaitosaltaissa. Lisäksi käytettiin muita kalastushallituksen samoihin aikoihin suoritettuja istutuksia (n. 10 000 merkittyjä). Tähän laajaan aineistoon perustuen olemme laatineet seuraavat suositukset:

1. Syvät järvimäiset altaat, joissa on pikkusiikaa, muikkua ja norssia saaliskaloina: Nopeastikasvavan, ylävirralla kutevan (Konnevesi, Gullspång) tai alavirralla kutevan taimenen istutus, jonka keskipituus on yli 28 cm.
2. Matalat järvimäiset altaat rantaläheisine saaliskaloinen padotusosassa, kuten särki, kiiski tai hauki: Nopeastikasvavan tyypiltään alavirralla kutevan taimenen istutus, jonka keskipituus on yli 26 cm (Bergnäs) tai paikallaan pysyvän taimenen istutus (Heligeå, Porsi, Torneälv ja Björkaå, ei kuitenkaan Verkeå), jonka keskipituus on yli 30 cm.
3. Läpivirtausallas minimijuoksutuksilla: Paikallaan pysyvien taimenien istutus (Björkaå, Verkeå, Heligeå ym.) tai alavirralla kutevien, jonka keskipituus on yli 24 cm.
4. Läpivirtausallas nollajuoksutuksella: Paikallaan pysyvien taimenien istutus (Björkaå, Heligeå, mahd. Torneälv, ei kuitenkaan Verkeå), jonka keskipituus on yli 30 cm. Soveltuvissa tapauksissa voidaan käyttää joen omaa kantaa, Porsi-taimenta keskipituudeltaan yli 25 cm.
5. Läpivirtausallas nollajuoksutuksella ja lukuisine haukikantoineen: Taimenistutus ei anna hyväksyttävää tulosta.
6. Allas sivuvirtauksineen, soveltuvat taimenvesiksi, suosassa: Paikallaan pysyvän taimenen istutus, lähinnä Björkaå, jonka keskipituus on yli 18 cm.

Muita suosituksia:

1. Paikallaan pysyvän taimenen istutus on tapahduttava altaan suosassa virtaavilla alueilla.
2. Kalan hyvä leviäminen yleisesti tavoiteltava.
3. Paikallaan pysyvien kantojen taimenistutukset on tapahduttava keväällä, mikäli mahdollista hauen kutuaikaan.
4. Ylävirralla kutevia on istutettava kesällä tai syksyllä.
5. Yli 60 cm haukien lisääntynyttä urheilukalastusta on edistettävä altaiden yläpäissä. Täten on mahdollista vähentää istutettujen taimenten joutumista haukien saaliiksi.

On tärkeää painottaa, ettei yleispäteviä neuvoja voidaan antaa. Jokaisessa eri tapauksessa on jonkinlainen määrittäminen tehtävä ennen taimenkannan valintaa, istutuskokoa ja istutusaikaa ym.

Kalervo Salojärvi
Risto Salmela
Kari Hanski

MITEN OULUJOEN VESISTÖN KALATALOUTTA VOITAISIIIN KEHITTÄÄ?

1 JOHDANTO

Oulujoen vesistöalueelle on laadittu useita kalataloudellisia käyttö- ja hoitosuunnitelmia. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen (RKTL) 1970-luvulla tekemä, koko Oulujoen vesistöaluetta koskeva suunnitelma keskittyi pääasiassa energiatalouden aiheuttamien vaikutusten arviointiin ja kompensatioehdotuksiin (Salojärvi ym. 1981a). RKTL on täydentänyt suunnitelmaa myöhemmin alueellisin osasuunnitelmin (Salojärvi ym. 1981b, 1983a, 1983b). Velvoitehoidon toteutusta on tutkittu ja tarkennettu Sotkamonreitillä (Salojärvi ja Huusko 1987). Oulujärvelle on laadittu kattava kalataloussuunnitelma, jossa kalan markkinointiin on kiinnitetty erityistä huomiota (Salojärvi ym. 1985a, 1985b).

Suunnittelun määrästä johtuen Oulujoen vesistöalueen kalataloudellinen nykytila tunnetaan verraten hyvin. Tiedon taso vaihtelee kuitenkin alueellisesti. Myös eri toimenpiteiden (energiatalous, maa- ja metsätalous, teollisuus- ja yhdyskuntajätevedet jne) biologiset vaikutusmekanismit sekä biotooppien säätö- ja parantamismahdollisuudet muuttuneissa olosuhteissa tunnetaan huonosti.

Oulujoen vesistöalueelle on esitetty erilaisia kalatalouden kehittämistoimia. Osa ehdotuksista on toteutunutkin. Myönteisen kehityksen edellytyksenä on kuitenkin, että kalatalous osana taloudellista ja yhteiskunnallista järjestelmää saisi nykyistä enemmän painoarvoa ja kehittämismahdollisuuksia.

2 KALATALOUSJÄRJESTELMÄ

Kalatalous on se osatekijöiden välisten vuorovaikutusten muodostama kokonaisuus, joka on vaihdantasuhteessa ympäristönsä kanssa. Kalatalousjärjestelmä voidaan jakaa osajärjestelmiin (Sipponen & Laukkanen 1982, Salojärvi 1983c). Osajärjestelmiä ovat mm. biologinen, taloudellinen ja sosiaalinen osajärjestelmä (kuva 1). Kalatalouden kehittäminen puolestaan edellyttää, että toimenpiteet ovat biologisesti, teknisesti ja taloudellisesti mahdollisia ja sosiaalisesti hyväksyttäviä.

Kalatalous on esimerkiksi Kainuussa yksinkertaisimmillaankin varsin monimutkainen järjestelmä (kuva 2). Siihen kuuluu mm. luonnonkalan tuotanto ja istutusten aikaansaama kalatuotannon

lisäys. Näitä yhdistää tavallaan markkinointi, joka välittää tuotannon kuluttajille. Tuotannon aikaansaamiseen ja hyödyntämiseen tarvitaan mm. välineitä (panosmuuttajat, vertaa kuva 2). Järjestelmän toimivuus edellyttää sen kaikkien osien toimivuutta. Järjestelmän toimivuuden tarkastelu antaa vastauksia kysymykseen: miten Oulujoen vesistön kalataloutta voitaisiin kehittää?

3 BIOLOGISET EDELLYTYKSET

Biologiset tuotantoedellytykset määräävät ne rajat, joissa kalataloutta voidaan kehittää. Vesistön eri osien biologiset tuotantoedellytykset vaihtelevat hydrologisista, morfologisista ja ekologisista olosuhteista johtuen. Olosuhteet järven ja joessa poikkeavat toisistaan. Vesistöön kohdistuvat toimenpiteet muuttavat biotooppeja ja näihin muutoksiin eliöstön on sopeuduttava. On siis oletettavaa, että myös kalaston koostumuksen ja ympäristön välillä on riippuvuus (kuva 3).

Oulujoen vesistöalueen korkea energiataloudellinen rakennusaste on muuttanut vesistön biologisia olosuhteita. Yhdessä taloudellisten ja sosiaalisten muutosten kanssa rakentaminen on vaikuttanut kalaston tuotantoedellytyksiin ja koostumukseen. Tuotantoedellytyksiä voidaan kuitenkin parantaa, kun muuttuneen ympäristön olosuhteet, kalaston vaatimukset sekä biotooppien säätö- ja parantumismahdollisuudet tunnetaan. Biologisen tuotannon optimointi edellyttää vastauksia ainakin seuraaviin kysymyksiin (mm. Gönczi ym. 1986, Eie & Amundsen 1987):

- mihin ympäristötekijöihin ja miten säännöstely- ja voimalaitosten käyttö vaikuttaa?
- ovatko olosuhteet koko järven tai patoaltaan alueella samanlaiset?
- miten alloktoninen ja autoktoninen aines kulkeutuu?
- ovatko lämpötilaolosuhteet muuttuneet ja miten paljon?
- miten kalojen ravinnon kannalta tärkeät pohjaeläinlajit reagoivat säännöstelyyn?
- mitkä kalalajit ovat parhaiten sopeutuneet elämään säännöstellyissä järvissä ja patoaltaissa (taimen, siika, harjus, hauki)?
- miten kalojen luontaisen lisääntymisen onnistumiseen voidaan vaikuttaa?
- minkä kokoisina kalat tulisi istuttaa?
- voidaanko kalojen kulkua parantamalla (kalatiet) tai rajoittamalla (kalaesteet) saavuttaa myönteisiä tuloksia?
- voidaanko kalastusta säätelemällä parantaa kalantuotantoa?
- ovatko istutettavat kalakannat parhaiten muuttuneisiin olosuhteisiin soveltuvia?

- ovatko istutusajankohdat istutustuloksellisuuden kannalta parhaat mahdolliset?
- soveltuvatko perinteiset kalastustavat muuttuneisiin olosuhteisiin?
- voidaanko virtakutuisille kalalajeille rakentaa korvaavia lisääntymisolosuhteita?

On selvää, että edellä esitettyihin kysymyksiin vastaaminen vaatii selvityksiä tuekseen. Muualla tehtyjen tutkimusten (Mellquist 1985, Gönczi ym. 1986) ja kokemusten perusteella voidaan arvioida, että Oulujoen vesistöalueella on muuttuneissakin olosuhteissa käyttämättömiä biologisia resursseja kalatalouden kehittämiseen.

Lisääntymisen turvaaminen on ollut keskeisen tärkeänä kalakantojen hoidossa. Pääosassa Oulujoen vesistöä ei kuitenkaan nykyisin ole kalalajeja, joiden lisääntymisen turvaamisesta tarvitsisi kantaa erityistä huolta. Sotkamon reitin luonnonvarainen planktonsiian lisääntyminen ja samoin eräät purotaimenkannat tulee voida turvata. Myös kuhan luonnonvaraisen lisääntymisen edellytyksiä pitäisi parantaa. Järvien säännöstely ei ole estänyt muikkukantojen uusiutumista. Päinvastoin on viitteitä, että tehokas kalastus voisi auttaa pitämään muikkukannat tuottavina ja tasoittaa voimakkaita vaihteluita.

Oulujoen vesistössä saaliskattoa ei ole saavutettu. Tästä on osoituksena mm. se, että kalastustehon ja saaliin välillä on vielä miltei suora positiivinen riippuvuus. Suurin saalis on alueilla, joilla kalastus on voimakkainta. Saaliin lisääminen kalastamalla tehokkaammin on siten mahdollista. Mikäli saalis vesipinta-alaa kohden nousee esim. sille tasolle, jolla se on tällä hetkellä Oulujoen vesistön tehokkaimmin kalastetuilla suurilla järvillä, niin saalis lisääntyy nykyisestä yli kaksinkertaiseksi. Biologisesti tämä on varmaankin täysin mahdollista.

Voimakkaalla kalastustehon lisäämisellä on jo vaikutuksia kalaston koostumukseen ja se edellyttää myös tehokasta, hyvin organisoitua kalakantojen hoitoa mahdollisten haittavaikutusten eliminoimiseksi. Yhtenä tärkeimmistä tulee kyseeseen kalaistutukset.

Kalaistutuksilla voidaan saada merkittäviä parannuksia aikaan. Tästä on jo käytännön todisteita Oulujoen vesistöstä. Tiettyjä kalalajeja, joilla ei juuri ole luonnonkudun mahdollisuuksia, voidaan pitää kalastettavina jatkuvilla istutuksilla. Tällaisia kalalajeja ovat mm. taimen ja lohi. Siikaistutuksilla voidaan päästä varsin korkeaan saalistasoon sekä suurissa että pienissä järvissä. Siikaistutuksilla on myös mahdollista pitää yllä ammattikalastusta tietyissä järvissä. Nykyisinkin yli puolet Oulujoen vesistön siikasaaliista on peräisin istutuksista. Istutusmääriä tarkistamalla ja kalastusta ohjaamalla nykyistä kustannushyötysuhdetta voidaan ainakin siian osalta huomattavasti parantaa.

Patoaltaiden kalalajiston hoidossa on harjuksella saavutettu lupaavia tuloksia (Gönczi ym. 1986). Myös Oulujoen patoaltaissa harjus on viime vuosina lisääntynyt tehostuneiden istutusten ansiosta. Istutusten tuloksellisuuden seuranta käynnistettiin Oulujoki Oy:n toimesta Utajärvellä 1987 (Salmela 1987). Tehostetut istutukset ja seuranta on tarkoitettu aloittamaan myös Muhoksella kuluvan vuoden aikana (Salmela 1988). Utajärvellä ja Muhoksella tullaan myös istuttamaan rapuja hyvän ja pyyntivahvuisen rapukannan palauttamiseksi Oulujokeen. Ravun menestymistä kuitenkin rajoittaa noin 10 - 15 vuoden välein toistuva rapurutto.

Järviin ja patoaltaisiin laskevia jokien poikastuotanto-alueita kunnostamalla ja sopivia taimenkantoja niihin istuttamalla voidaan tällaiset joet saada tuottamaan vaelluspoikasia alapuolisiin vesiin.

Kalaportaiden rakentamiselle Oulujoen voimalaitoksiin ei ole kalataloudellisia perusteita (mm. Oulun yliopisto, eläintieteenlaitos 1985). Mereisten vaelluskalakantojen mädinhankinta Oulujokisuulle tulee kuitenkin turvata. Kalaesteillä ei vesistöalueen kalataloudellista tuottoa voida lisätä. Kalojen vaellukset vesialueelta toiselle johtuvat pääasiassa ravintovarojen vähenemisestä ja uusien ravintovarojen etsimisestä. Tätä käsitystä tukevat myös useat kalojen kasvuun liittyvät tutkimukset mm. Oulujärvellä.

Edellä esitetty on jo osoittanut, että Oulujoen vesistön biologista tuotantomahdollisuuksia ei ole määrällisesti eikä laadullisesti käytetty läheskään hyödyksi. Monilla alueilla olosuhteiden muutosten vaikutukset eivät ole tulleet esille, koska kalastus on vähäistä. Esim. muikun osalta säännöstelyn haitta lisääntymiselle on tällä hetkellä useilla säännöstelyjärvillä vähäinen. Haitta voisi tulla esille vasta, kun kalastusta tehostettaisiin huomattavasti nykyisestä. Tällöin säännöstelyjärven tuotantotasoa saattaisi jäädä luonnontilaista alemmas. Mikäli kalakantoja hoidetaan tehokkaasti ja tehdään ne ympäristön parantamistoimet, jotka ovat käytettävissä, niin voimataloudelliset toimenpiteet eivät jokialueiden lohi- ja taimenkantoja lukuunottamatta kovin ratkaisevasti heikennä Oulujoen vesistöalueen tuotantomahdollisuuksia. Tästä on myös käytännön esimerkkejä mm. Kiantajärveltä ja Sotkamon järviltä.

4 TALOUDELLISET EDELLYTYKSET

Taloudellisia edellytyksiä voidaan tarkastella eri tasoilta esim. yritystoiminnan, aluetalouden tai jopa kansantalouden kannalta. Puhtaimmassa muodossaan taloudelliset tekijät korostuvat yritystoiminnassa.

Taloudellisista edellytyksistä Oulujoen veistöalueella on huonompi kuva kuin biologisista tuotantoedellytyksistä mm. siksi, että yrityksiä koskeva tieto on vaikeasti saatavissa. Tiettyjä ongelmia on ilmeisesti ollut päätellen siitä, että kalatalousalan yrityksiä on Kainuussa joutunut taloudellisiin vaikeuksiin ja ammattikalastus on vähentynyt. Ammattikalastuksen vähenemiseen on ollut yhtenä syynä kannattavuusongelmat. Mutta onko näin myös tulevaisuudessa?

Vesistöalueen biologiset edellytykset sallisivat nykyistä tehokkaamman ja laajemman sekä monipuolisemman kalastuksen. Kalastusyritykset voisivat siten laajentaa toimintaansa nykyisestä kuten on tapahtunutkin. Uudenlaista ammattikalastusta (isorysä- ja troolikalastus) on syntynyt suurimmille järville. Uusia kalastusmuotoja on otettu käyttöön tai niitä kokeillaan. Järviolueen ammattimaisen kalastuksen mahdollisuudet keskittyvät toiminnan laajentamiseen. Ei ole näköpiirissä, että yhteiskunnan kehittyminen suosisi pitkän päälle nykyisen kaltaista pienimuotoista ammattikalastusta.

Kalastus ammattina voi kehittyä vain jos kalastusyrityksen saamaa kalamäärää voidaan kannattavasti nykyisestä lisätä. Markkinointi on taloudellisen järjestelmän kulmakivi ja se onnistuu tehokkaasti vain, jos sillä on mitä markkinoida. Kalastusyritysten koon kasvattaminen heijastuu luonnollisesti kalastajamääriin. Mitä enemmän yksi kalastusyritys ottaa vesistöä kalaa, sitä vähemmän vesistö voi työllistää kalastusyrityksiä. Toisaalta yksi hyvin toimiva kalastusyritys luo uusia työpaikkoja esim. markkinoinnin piirissä. Laaja ammattikalastus tulee kyseeseen vain vesistöalueen suurimmilla järvillä. Kannattavuuden parantamiseksi kalastusyrityksille tulisi sallia nykyistä huomattavasti laajempi alueellinen liikkumavara.

Ammattikalastus ei ole ainoa yritystoiminnan muoto, jonka taloudellisia edellytyksiä voidaan parantaa. Matkailukalastuksen mahdollisuudet ovat selvästi lupaavat koko vesistöalueella. Kun biologiset edellytykset säätelevät ammattikalastusta ei biologinen tuotanto aseta rajoituksia matkailukalastukselle. Tosin kalalajikoostumus yms. biologiset seikat vaikuttavat myös matkailukalastuksen kehitykseen. Matkailukalastuksen menestys riippuu innovaation ja markkinoinnin onnistumisesta ja alan kehityksestä muualla maassa.

Vesistöalueen järvillä voidaan myös harjoittaa vedenviljelyä (Kähkönen 1975, Kainuun seutukaavaliitto 1976). Vedenviljelyn mahdollisuuksia on jossakin määrin jo kartoitettu, mutta parhaat ideat odottavat vielä keksijäänsä. Uusien lajien ja tuotteiden mm. ravun viljely tulisi selvittää. Mikäli jätevesikysymykset saadaan ratkaistua, niin biologiset seikat eivät estä toiminnan kehittymistä. Tällä hetkellä taloudellisten edellytysten kehittymismahdollisuudet ovat järviolueella poikkeuksellisen hyvät, sillä valtio on Kainuussa panostanut kalakantojen hoitoon ja se helpottaa osaltaan myös yritystoimintaa.

5 SOSIAALISET EDELLYTYKSET

Vesistöalueella on eri kalastajaryhmien välillä eturistiriitoja. Ihmisten käsitykset kalastuksesta ja kalakantojen hoidosta vaihtelevat. Oulujärvellä on syntynyt erimielisyyksiä isorysäkalastuksesta ja troolauksesta. Isorysäkalastuksessa ovat vastakkain olleet siikaa kotitarpeikseen verkoilla kalastavat ja isorysillä kalastavat ammattikalastajat. Muikun kalastuksessa ovat vastakkain toisaalta kutukalastajat ja troolaajat. Vastaavia vastakkainasetteluja on havaittavissa hyvin runsaasti. Yhteistä niille kaikille on, että ne ohjaavat päätöksentekoa ja kalastusta mahdollisesti täysin irrallaan järven biologisista tuotantomahdollisuuksista tai taloudellisista tekijöistä. Mikäli troolaus järviolueella kielletään kokonaan, saattaa se olla yritystaloudellisesti ja biologisesti epätarkoituksenmukaista. Sama koskee kalastusta yritystoimintana yleensäkin.

Erilaiset ihmisten asettamat tai alitajuisesti omaksumat määräykset tai normit rajoittavat hyvin tehokkaasti kalastusta. USA:ssa ja Kanadassa tämä on johtanut esimerkiksi siihen, että ammattikalastusta ei enää sisävesillä harjoiteta tai sen määrä on vähäinen. Lähitulevaisuus näyttää, johtaako kehitys tähän Kainuussa. Suuri vesipinta-ala ja kehittyvä kalakantojen hoito takaa kuitenkin alueen väestölle kohtuulliset kalastusmahdollisuudet. Ammattikalastuksen mahdollisuudet kytkeytyvät kuitenkin Kainuussa hyvin keskeisesti niihin mahdollisuuksiin, joita sosiaalinen osajärjestelmä sallii. Ei ole nähtävissä, että vesistöalueen biologista tuotantoa käytettäisiin koskaan maksimaalisesti tai että kalatalouteen liittyvä yritystoiminta voisi toimia vapaasti kannattavuuskriteerien mukaan. Sosiaalinen osajärjestelmä rajoittaa järviolueen kalastuksen kehittämistä.

6 YHTYENVETO

Vesistöalueen kalansaaliita voidaan kalastusta tehostamalla nykyisestä tuntuvasti lisätä. Biologista tuotantoedellytyksiä ja tuotantoa on mahdollista parantaa biotooppien säädöllä ja hoidolla sekä kaloja istuttamalla ja kalastusta ohjaamalla. Istutustoiminnassa tulisi kiinnittää huomiota kalalajien ja -kantojen valintaan.

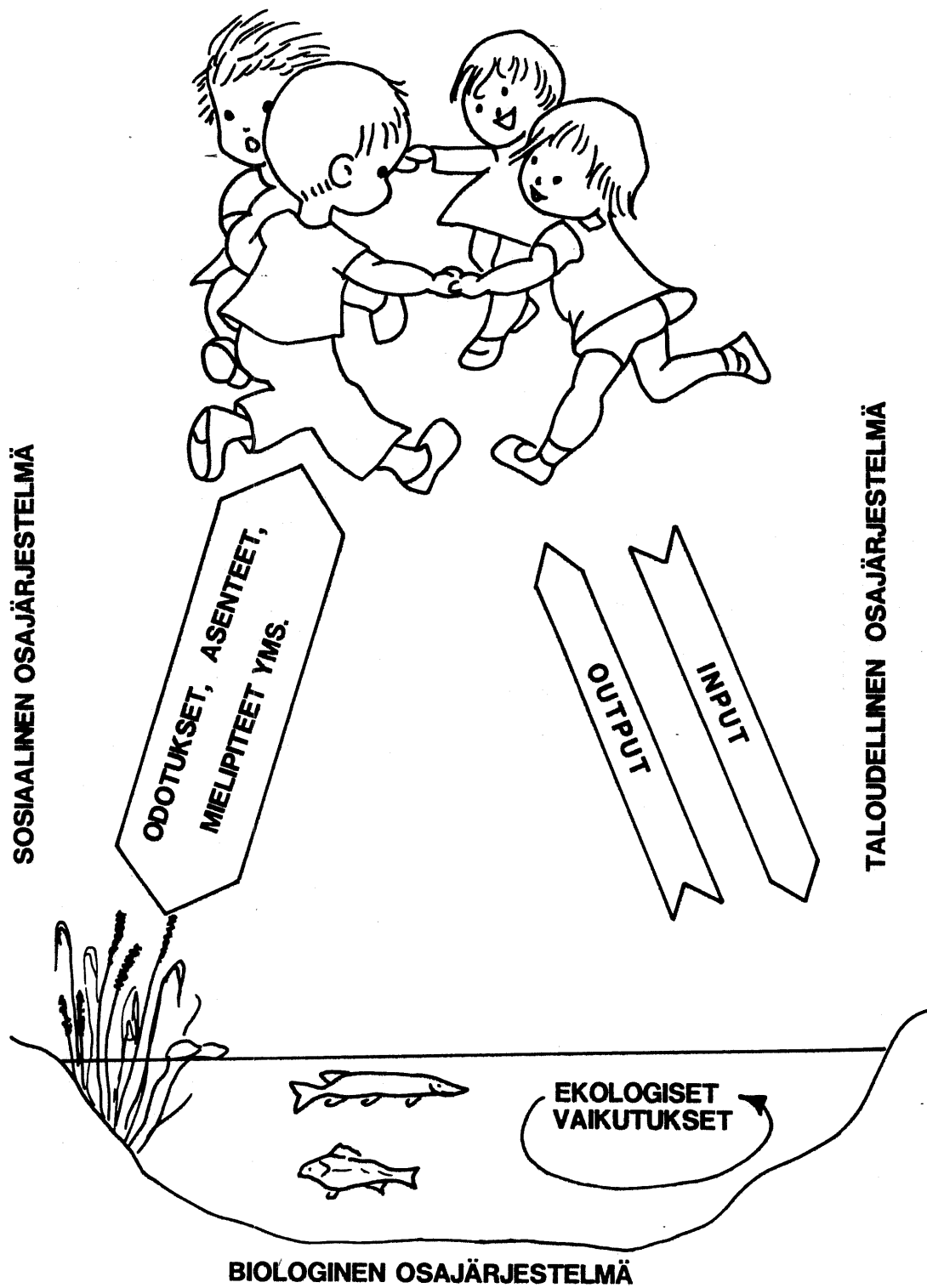
Järviolueella on myös taloudellisia resursseja ja mahdollisuuksia kalaan ja kalastukseen perustuvan yritystoiminnan kehittämiseen ja laajentamiseen edelleen. Erityisen suuret mahdollisuudet kätkeytyvät matkailukalastukseen ja vedenviljelyyn. Valtion toimenpiteet kalakantojen hoidon tiimoilta lisäksi auttavat yritystoiminnan syntyä ja kehitystä.

Sosiaaliset edellytykset rajoittavat Kainuussa kalataloudellisia kehittämismahdollisuuksia. Erilaiset odotukset, asenteet ym. kalastajien ja yleensä ihmisten kesken vaikeuttavat tehokkaimmin kalatalouden kehittämistä ja kehittymistä. Tämän vuoksi kalataloutta tulisi kehittää sosiaalisen osajärjestelmän ehdoin ja sitä ohjaamalla.

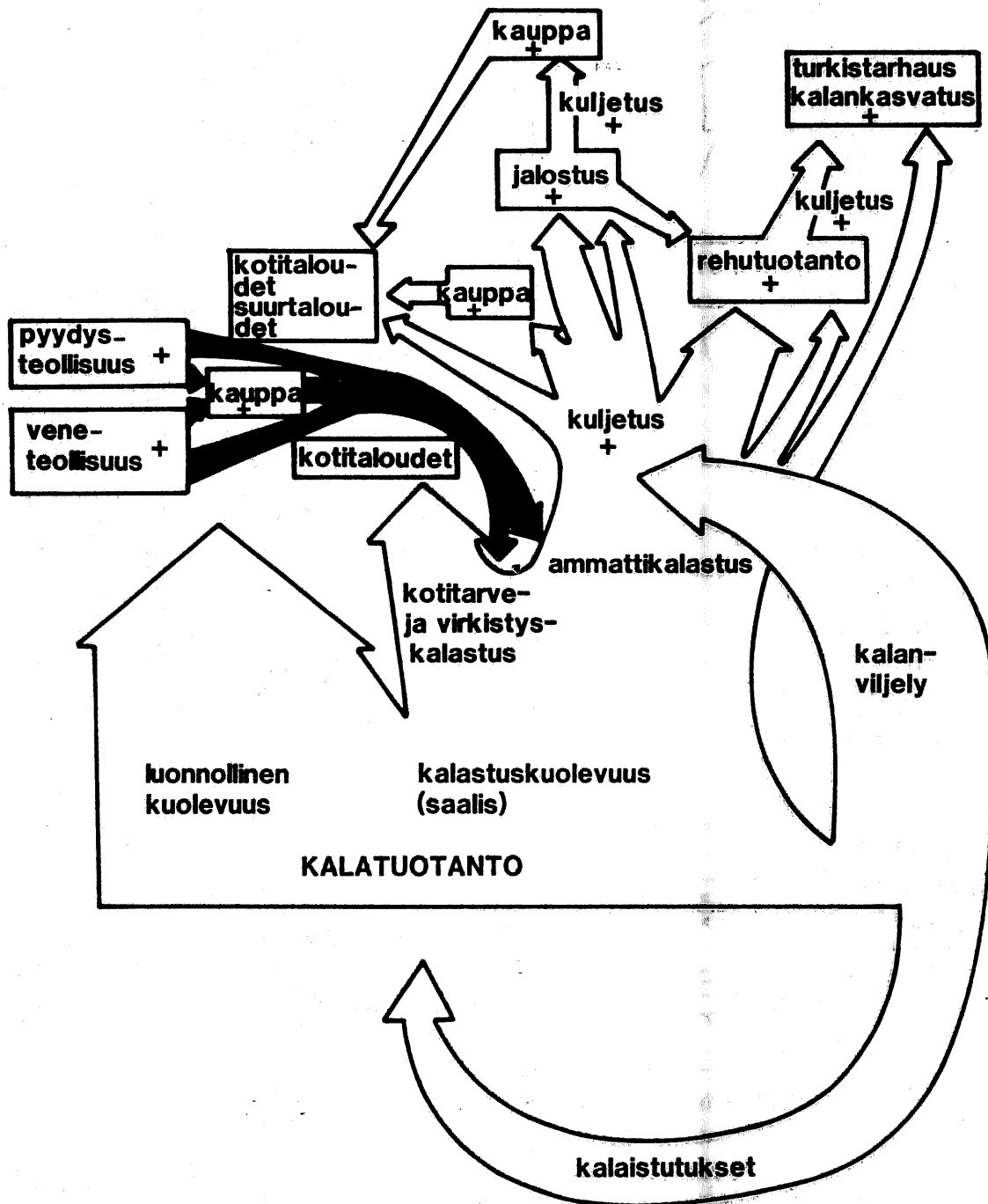
KIRJALLISUUS

- Eie, J.A. & Amundsen, B-T. 1987. Biotopjusterings-prosjektet. Status 87. Vassdragsdirektoratet. Publikasjon 9: 1 - 21.
- Gönczi, A., Henricson, J., & Sjöberg, G. 1986. Fiskevård i älvmagasin. Sluttrapport från FÅK, del 1: 1 - 115.
- Kainuun seutukaavaliitto 1976. Kainuun kalatalous II. Kalanviljelylaitosten sijoitus- ja aluevaraus-suunnitelma. Kajaani: Kainuun seutukaavaliitto II: 12. 79 s.
- Kähkönen, J. 1975. Perusselvitys kainuulaisen kirjolohen markkinoinnin ongelmista. Kajaani. Kainuun Maakuntaliitto A:6. 56 s.
- Mellquist, Pål 1985. Liv i regulerte elver. Kraft og miljø nr 10. NVE - Natur og landskapsavdelingen. 120 s.
- Oulun yliopisto, eläintieteenlaitos 1985. Oulujoen suulle rakennettuun Merikosken voimalaitokseen suunnitellun kalaportaan kalataloudelliset vaikutukset. Moniste 38 s.
- Salmela, R. 1987. Utasen voimalaitoksen alakanavan ja sen sivu-uomien sekä Utosjoen alaosan kalataloudellinen hoito- ja tarkkailusuunnitelma 1987 - 1992. Imatran Voima Oy. 3 s.
- Salmela, R. 1988. Oulujoen kalataloudellinen hoito- ja käyttösuunnitelma Muhoksen kunnassa 1988 - 1993. Imatran Voima Oy. 3 s.
- Salojärvi, K., Auvinen, H. & Ikonen, E. 1981 a. Oulujoen vesistön kalatalouden hoitosuunnitelma. - Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, kalantutkimusosasto. Monistettuja julkaisuja 1: 1 - 277.

- Salojärvi, K., Heikinheimo-Schmid, O. & Jutila, E. 1981 b. Oulujoen kala-, nahkiais- ja rapukannoille aiheutuneet vahingot ja niiden kompensointi. - Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, kalantutkimusosasto. Tiedonantoja 16: 1 - 76.
- Salojärvi, K., Heikinheimo-Schmid, O. ja Jutila, E. 1983 a. Hyrynsalmen reitin kala- ja rapukannoille aiheutuneet vahingot ja niiden kompensointi. - Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, kalantutkimusosasto. Monistettuja julkaisuja 10: 1 - 97.
- Salojärvi, K., Heikinheimo-Schmid O. ja Vihervuori, A. 1983 b. Sotkamon reitin kala- ja rapukannoille aiheutuneet vahingot ja niiden kompensointi. - Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, kalantutkimusosasto. Monistettuja julkaisuja 11: 1 - 99.
- Salojärvi, K. 1983 c. Alueellinen kalataloussuunnittelu. - Kalastuslainsäädännön uudistus ja alueellinen kalataloussuunnittelu. VKA ry:n täydennyskoulutus-päivät Vääksyssä 28. - 30.10.1982: 41 - 49.
- Salojärvi, K., Partanen, H., Auvinen, H., Jurvelius, J., Jäntti-Huhtanen, N. ja Rajakallio, R. 1985 a. Oulujärven kalatalouden kehittämissuunnitelma. Osa I: Nykytila. - Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, kalantutkimusosasto. Monistettuja julkaisuja 40: 1 - 278.
- Salojärvi, K. ja Partanen, H. 1985 b. Oulujärven kalatalouden kehittämissuunnitelma. Osa II: Suunnitelma. - Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, kalantutkimusosasto. Monistettuja julkaisuja 41: 1 - 116.
- Salojärvi, K. ja Huusko, A. 1987. Sotkamon reitin velvoitehoidon tulokset v. 1981 - 1985, tuloksiin vaikuttavat tekijät ja suositukset hoidon kehittämiseksi. - Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, kalantutkimusosasto. Monistettuja julkaisuja 58: 1 - 311.
- Sipponen, M. & Laukkanen, T. 1982. Keski-Suomen läänin kalatalousjärjestelmästä. Keski-Suomen läänin kalataloussuunnittelu. Väli raportti II. - Hydrobiologian tutkimuskeskuksen tiedonantoja 114. 76 s.

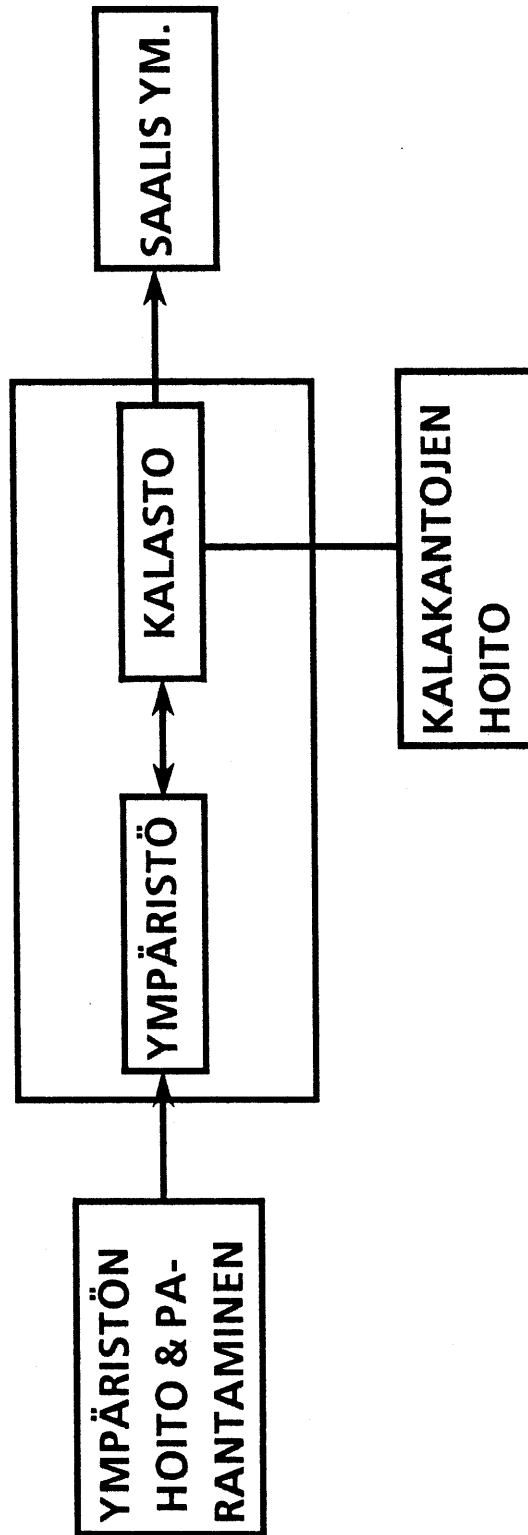


Kuva 1 Kalatalous osajärjestelmään



Kuva 2 Yksinkertaistettu kaavakuva Kainuun kalatalousjärjestelmästä. Työllistävä vaikutus on merkitty +. Kuvassa on esitetty vain kaksi panosmuuttujaa (mustat nuolet).

KALASTON KOOSTUMUKSEN JA YMPÄRISTÖN VÄLINEN RIIPPUVUUS



Kuva 3 Kalaston koostumuksen ja ympäristön väliset riippuvuussuhteet

Keränen, R.

VEDENKORKEUDEN VAIHTELUN VAIKUTUS RANNAN KEHITTYMISEEN

1 RANTAVOIMAT JA PROSESSIT

Rantavyöhykkeen kehittymiseen lumi-ilmastovyöhykkeen sisäjärvillä katsotaan yleensä vaikuttavan ainakin seuraavat tekijät, nk. rantavoimat:

- aallokko
- jää ja routa
- tuuli

Nämä rantavoimat voidaan jaotella edelleen lukuisiin osatekijöihin sen mukaan, mitä rantavyöhykettä tarkastellaan. Rantavoimien aiheuttamana tapahtuu rannalla ainekseen kohdistuvia tapahtumia, joita nimitetään yleisesti rantaprosesseiksi. Prosesseja ovat lähinnä

- aineksen irtoaminen alustastaan (eroosio)
- aineksen kulkeutuminen (transportaatio)
- aineksen kerrostuminen (akkumulaatio)

Prosessien selvä erottaminen toisistaan ei ole aina mahdollista, eikä edes perusteltua, koska tapahtumat ovat lähes aina päällekkäisiä. Prosessien pitkäaikaisen vallitsevuuden perusteella voidaan kuitenkin rantoja, tai rannan osia, luokitella esimerkiksi kuluviiksi tai kerrostuviksi rannoiksi. Tässäkin on kuitenkin huolella huomioitava tarkastelun kohteena oleva rantavyöhyke. Lähes aina eroavat esimerkiksi rannan vedenalainen osa ja tyynen vesirajan yläpuolinen alue selvästi toisistaan. Tarkasteltaessa pienipiirteitä aluetta tai prosesseja, on perusteltua käyttää esimerkiksi ilmaisua "kuluttava kulkeutuminen" tai "kerrostava kulkeutuminen" sen vuoksi, että puhdasta kulkeutumisprosessia ei juuri esiinny.

1.1 AALLOKKO

Aallokko vaikuttaa rantaprosesseihin ainakin kolmella eri virtaustyyppillä. Etenevän aallokon alle muodostuu kehävirtaus, joka ulottuu lähinnä aallonkorkeuden ja pituuden säätelemälle syvyydelle. Pohjan yläpuolella kehävirtaus muuttuu edestakaiseksi oskillaatiovirtaukseksi, joka koostuu siis vain kehän horisontaalisista osista. Kehävirtauksen nopeuden ylittäessä juuri pohja-aineksen raekoolle ominaisen raja-arvon, ollaan syvyydellä, jota kutsutaan aaltoperustaksi. Tämä syvyys säätelee rannan vedenalaisen osan kehittymistä. Aallonkorkeuden kasvaessa aaltoperusta syvenee aiheuttaen pohjaa kuluttavaa kulkeutumista. Sama ilmiö tapahtuu vedenpinnan alentumisen seurauksena. Jos aallonkorkeus

madaltuu tai vedenpinta kohoaa alenee kehävirtausnopeus tietyllä syvyydellä niin paljon, että kulutusta ei enää tapahdu, vaan paikalla alkaa liettyneen aineksen kerrostuminen.

Rannan matalassa osassa muuttuu kehävirtaus siten, että aaltoliikkeen paluukomponentti leikkautuu veden mataluudesta johtuen pois aiheuttaen vain aallon harjan etene-
misen mukana etenevän virtauksen. Tässä yhteydessä virtausnopeus voi ylittää huomattavasti puhtaan kehävirtauksen nopeuden, mikä näkyy prosessien nopeutena rannan matalassa osassa.

Lähellä tyynen vedenpinnan vesirajaa tapahtuu aallon lopullinen tyrskyyntyminen ja sen seurauksena syntyy rantaa ylös syöksyvä huuhteluvirtaus. Huuhtelu saa energiansa aallon omasta liikkeestä. Sen sijaan viettävää huuhtelupintaa takaisin valuva paluuhuuhtelu on lähes täysin painovoiman aiheuttama.

Edellä mainittujen lisäksi rannalla esiintyy lukuisia muita virtausmuotoja, joiden olemassaolo ei kuitenkaan ole suoraan aaltoliikkeen aiheuttama. Aineksen kulkeutumisen kannalta lienee järviympäristössä tärkein nk. massavirtaus, joka syntyy vesimassan alaosaan ylimääräisen veden palatessa rannan syvään osaan.

Aallokon toimintaa sääteleviä tekijöitä ovat etenkin tuulen nopeus ja vaikutusaika, tuulen pyyhkäisymatka (fetch), vedenpinnan korkeus ja rannan pohja-aineiden karkeus. Näiden lisäksi prosessien nopeuteen ja laajuuteen matalassa osassa rantaa vaikuttaa myös rannan vedenalaisen osan leveys ja kaltevuus; aallokon energiasta (lähinnä vesirajan huuhteluvirtaukset) suuri osa häviää leveään ja loivan rantatasanteen ylittämiseen.

1.2 JÄÄ JA ROUTA

Jää vaikuttaa rantavyöhykkeeseen kahdella periaatteellisella tavalla. Ensiksi on huomattava, että jääpeite estää tehokkaimman rantavoiman, siis aallokon, toiminnan noin puolet ajasta. Toisaalta jääpeitteellä on myös aktiivinen vaikutusmekanismi, joka muovaa rantavyöhykettä.

Jääpeite voi liikkua joko lämpötilan muutosten seurauksena tai suoraan tuulen työntämänä. Lisäksi vaikuttaa pienialaisesti kevättalvisen vedenpinnan alentumisen seurauksena tapahtuva rantajään murtuminen ja vähäinen liikkuminen sen seurauksena. Näiden jääkentän liikkeiden seurauksena ranta-aines saa omia selväpiirteisiä muotojaan, joiden kehittyminen aiheuttaa toisaalla materiaalin ja kasvipeitteen kulumista ja toisaalla kerrostumista. Myös pohjaan laskeutuneen jään ja pohjan välissä virtaava lumen sulamisvesi tai esiin purkautuva pohjave-

si aiheuttaa aineksen kulkeutumista ja rannan pintaosan muotoutumista.

1.3 TUULI

Tuuli muokkaa rantaa lähinnä aallokon kehittäjänä. Tämän lisäksi tuuli kehittää ranta-alueita kerrostamalla rantadyynnejä ja kuluttamalla niitä uudelleen. Rantadyynien muodostuminen on yleisintä harjualueiden läheisyydessä, missä on runsaasti tuulen toiminnalle sopivaa ainesta.

Tuulella on merkitystä myös prosessisuunnan määrääjänä. Avovesikaudella ovat varsinkin voimakkaat tuulet verraten selvästi keskittyneet tiettyihin ilmansuuntiin (puhutaan nk. vallitsevista tuulensuunnista). Tämän vallitsevuuden seurauksena on varsinkin hiekkarannoilla nähtävissä selvä aluejärjestelmä, jonka mukaan kerrostumat sijaitsevat kulutusalueiden suojapuolella. Yleensä Suomen tuulisuhteet ovat länsivoittoisia, joten esimerkiksi saarien länsipäät ovat vallitsevasti kulutuskivikoiden luonnehtimia ja itäosissa tavataan kulutusta vastaavat kerrostumat.

2 RANTAPROSESSIEN SÄÄTELYJÄRJESTELMÄ

Rantojen kehittymiseen vaikuttavat monet tekijät edellä mainittujen varsinaisten rantavoimien lisäksi. Niiden toiminta ja vaikutus ovat yleensä toisistaan riippuvaisia siten, että yhden tekijän muuttuminen tai vaihtelu aiheuttaa muutoksen muissa tekijöissä. Lähinnä juuri rantaprosessien etenemisen, siis varsinaisen rantavyöhykkeen muovautumisen, laajana taustajoukkona voidaan pitää rantavoimien säätelyjärjestelmää. Tämän varsin monimutkaisen syy seuraussuhteen osatekijöinä voidaan luetella esimerkiksi:

- rannan suurympäristön kallioperän rakenne(strukturaalimorfologia)
- alueen glasiaalimorfologia(jäätikön ja jäätikköjokien aiheuttama topografia ja morfologia)
- jääkauden jälkeinen kehityshistoria(mm. maankuoren kohoaminen ja kallistuminen)
- ilmasto; vedenpinnan luonnollinen vaihtelu ja muutos
- ihmisen toiminta; säännöstely ja vesien kuormittaminen

2.1 VEDENPINNAN KORKEUDEN VAIHTELU

Järvien vedenkorkeuden muutos ja vaihtelu tapahtuu monella eri tavalla ja myös eri rytmillä. Luonnontilaisissa vesissä vaihtelua esiintyy ainakin kolmessa periodissa:

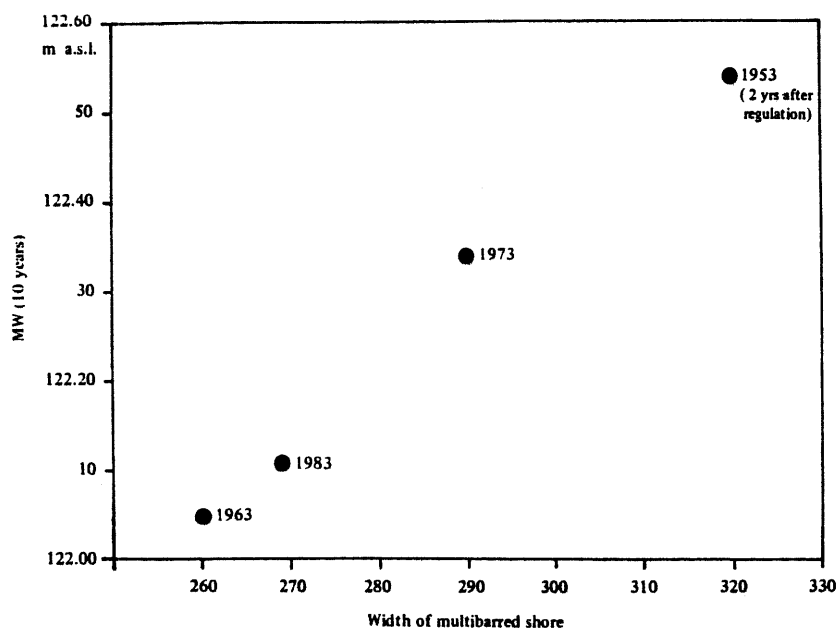
a) Pitkän ajan muutokset, kuten maankohoamisesta aiheutuvat transgressio ja regressio sekä ilmaston pitkän jakson muutosten seuraukset

b) Vuodenaikaiset muutokset, siis vesistön normaali rytmi

c) Lyhyet vaihtelut, jotka tapahtuvat muutaman tunnin tai kymmenien minuuttien jaksoina.

Lisäksi on yhtenä merkittävänä tekijänä säännöstely, jolla muutetaan vedenpinnan tasoa, ja samalla yleensä myös vuodenaikaista rytmiä.

Vedenpinnan korkeuden muutokset vaikuttavat aallokon toimintaan monella eri tavalla. Tason muutos aiheuttaa aaltoperustasyvyyden muutoksen siten, että vedenpinnan kohotessa rannan ulkoreuna jää kulutuksen ja kulkeutumisen suhteen stabiiliksi alueeksi. Samalla aallokon vesirajalle tuoma energiamäärä kasvaa lisäten mm. törmäkulutusta ja siten huuhteluvyöhykeen prosesseja. Näyttää myös siltä, että rantatasanteen ulkoreunan kerrostumat seuraavat verraten selvästi vedepinnan muutoksia. Kun vesi on pitemmän ajan korkealla, siirtyy jyrkänparras (purkutason ulkoreuna) ulappaa kohden ja matalan veden aikana vesirajaa kohden (kuva 1). Tämä selittyy sillä,



Kuva 1. Särkkien peittämän rantatasanteen leveyden vaihtelu Oulujärvellä Manamansalon Rytölähdessä vv. 1953-1983 suhteutettuna kymmenvuotiskausien keskivedenpinnan (MW) tasoon. Mittaukset tehty ilmakuville 1:10 000.

että korkean veden aikana vesipatjaan muodostuu ulapalle päin suuntautuva massavirtaus, joka mahdollistaa aineksen kulkeutumisen aallokon etenemissuuntaa vastaan. Matkan veden aikana vastaavasti kehävirtauksen osuus jää vähäiseksi, ja sen korvaa etenevä virtaus, joka kuljettaa pohjan hiekkaa rantaa ylös.

Esimerkiksi tuulen suunnan ja nopeuden muutos aiheuttavat järvissä vedenpinnan heilahteluja, jotka voivat järven muodosta riippuen olla kymmenien senttimetrien suuruusluokkaa. Tällä vaihtelulla, ja myös vedenpinnan pysyvällä korkealla tasolla tuulen vastarannalla, on ilmeinen merkitys rantaprosessien vaikutusalaan ja nopeutueen. Jos vedenpinta esimerkiksi nousee tuulen vuoksi hiekkarannalla (kaltevuus 0.3 %) kaksikymmentä senttimetriä, on siitä seurauksena aaltoperustasyvyyden siirtyminen rantaa kohden noin 70 metriä. Seitsemänkymmenen metrin vyöhyke muuttuu siis aktiivisesta stabiiliksi hienon sedimentin kerrostumisalueeksi. Vastaavasti vedenpinnan lyhytaikainenkin kohoaminen lisää aallokon huuhtelutehoa huomattavasti, mistä seuraa hiekkasten törmärintojen kulumisen (vyörymisen) tilapäinen kiihtyminen.

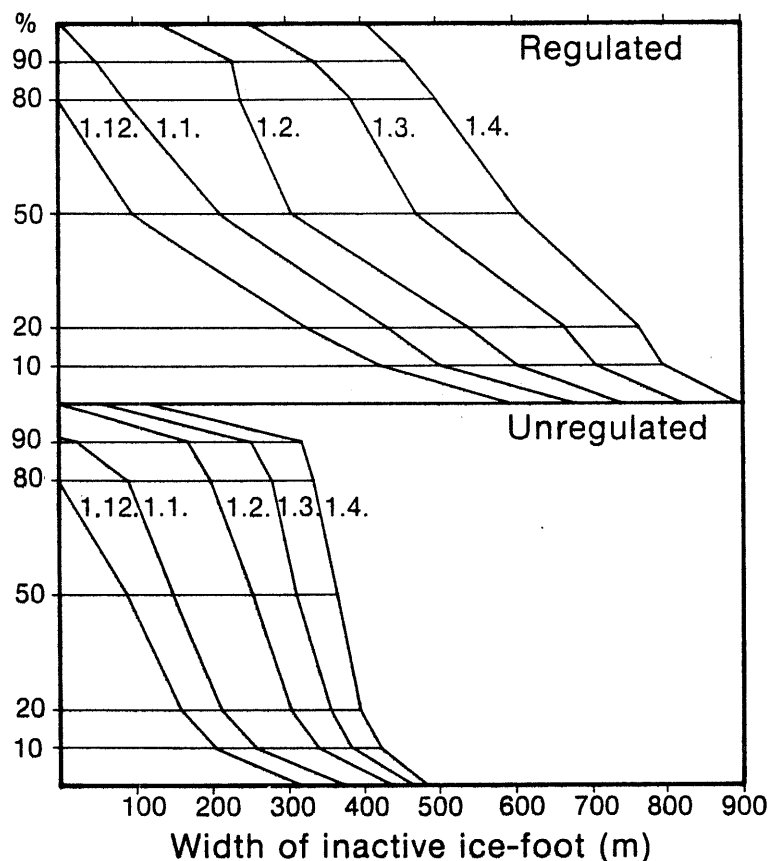
Vedenpinnan aleneminen vastaavasti alentaa myös aaltoperustaa. Tämän seurauksena pohja joutuu rannan syvemmissä osassa nopeutuneen kehävirtauksen kohteeksi aiheuttaen kiihtyviä prosesseja. Pohjasta kulunut aines kulkeutuu vesirajaa kohden varsin nopeasti kaiken eteen sattuvan hautaavana massana. Jos rantatasanne on laaja, siirtää tuuli paljastuneelta pohjalta ainesta edelleen rantaa ylös.

Jään toiminta on hyvin selvästi riippuvainen vedenkorkeuden vaihtelusta. Ensiksi on huomattava, että täysi järviallas jäätyy veden lämpövarastosta johtuen myöhemmin kuin vajaa allas. Jos vedenpinta on syystalvesta ylhäällä, edistää se jään lämpölaajenemisen vaikutuksia, koska jääjalkaa ei ole.

Vedenkorkeuden vaihtelun, yleensä laskun, määrästä talvella riippuu ennen kaikkea se, miten laajalla alueella jääpeite laskeutuu pohjaan kiinni (kuva 2). Luonnollisesti tämän passiivisen jääjalan leveyteen vaikuttaa myös rannan kaltevuus. Kivikkoiset moreenirannat ovat usein jyrkempiä kuin hiekkaiset rantatasanteet, joten hiekkarannoilla on myös jääjalka leveämpi. Jääjalan leveydellä on merkitystä paitsi jäänreunan liikkumiseen, myös suoranaisesti pohjan eläimistöön ja kasvistoon.

3. A A L L O K O N A I H E U T T A M A T P R O S E S S I T

Aallokon vaikuttaa rantavyöhykeeseen edellä mainittujen kolmen virtaustavan välityksellä. Kehävirtaus ja lähellä pohjaa esiintyvä oskillaatiovirtaus vaikuttavat rannan



Kuva 2. Passiivisen jääjalan laskennallisia leveyksiä eri ajankohtina luonnontilaisessa ja säännöstellyssä Oulujärvessä. Rannan kaltevuudeksi on oletettu 0.3 %. Pystyakselin prosenttiluvut osoittavat toistumistodennäköisyyksiä.

syvimässä osassa. Etenevä virtaus esiintyy lähinnä rannan matalassa osassa tai esimerkiksi särkän päällä. Huuhteluvirtaus tapahtuu pääosin tyynen vesirajan yläpuolella.

3.1. KEHÄVIRTAUKSEN VYÖHYKE

Kehävirtaus siirtää syvässä vedessä pohja-ainesta (lähinnä hiekkaa tai hietaa) aallokon periodin mukaan edestakaisin. Tämän liikkeen seurauksena pohjaan muodostuu aallonmerkkejä eli kareita, jotka pääasiassa välittävät aineksen kulkeutumisen. Jos virtausnopeus on pienempi kuin ainekselle tyypillinen rajanopeus, ei tempautumista tapahdu. Aallonmerkkien muodosta ja koosta voidaan päätellä mm. virtauksen nopeutta ja aineksen kulkeutumis-suuntaa. Virtausnopeuden kasvaessa riittävän suureksi ei kareita enää muodostu, vaan pohja kuluu tasaiseksi.

Kuluminen ja kulkeutuminen tapahtuvat rannan syvällä osalla aallokon toimesta lähinnä kehävirtausnopeuden ja aineksen raekoon suhteessa. Vastaavasti virtausnopeuteen

vaikuttavat mm. aallokon mittasuhteet ja veden syvyys. Kärjistetysti voidaan esittää, että luonnontilaisessa järvessä rannan syvän osan prosessit riippuvat lähinnä vuodenajasta ja ilmastonvaihtelusta. Heti jäiden lähdettyä, siis matalan veden aikana, vaikuttaa kehävirtaus kuluttavasti juuri rantavyöhykkeen ulkoreunaan. Normaalien vedenpinnan aikana sinne kerrostuvat virtausta kaikkein huonoimmin kestävät aineskoot ja muodot. Alkukesän tulvahuipun aikana on keskiveden aikainen aktiivinen rantavyöhyke stabiilia hienon sedimentin kerrostumisaluetta.

Säännöstelytilanteessa tätä rytmiä muutetaan lähinnä energiahuoltoa ajatellen. Altaat pyritään täyttämään syyssateista äärimmillen, mistä on seurauksena aktiivisen prosessivyöhykkeen siirtyminen vesirajaa kohden. Vastaavasti talven aikana laskettu vedenpinta aiheuttaa keväällä ennen tulvaa voimakasta kehävirtauskulutusta nimenomaan rannan ulkoreunalla ja siten aineksen kulkeutumista vesirajaa kohden.

3.2 ETENEVÄN VIRTAAUKSEN VYÖHYKE

Aallokon toiminta rannan matalassa osassa on verraten selväpiirteinen. Jos vettä on tarpeeksi kehävirtauksen syntymiselle, eivät prosessit juurikaan eroa syvän veden tapahtumista. Syynä tähän on jo edellä kuvattu pyrkimys tasapainotilaan. Rannan madaltuessa madaltuu myös aallokko, jolloin aaltoperustasyvyys pienenee samassa suhteessa. Matalan vedenpinnan aikana muodostuu rannan yläreunalle etenevän virtauksen vyöhyke, jossa veden virtausnopeus on usein niin suuri, että aallonmerkkejä ei varsinkaan kovalla tuulella synny. Aines kulkee virtauksen mukana suoraan etenpäin kerrostaen mm. särkkiä. Rantaviivan suuntaisten särkkien poikkileikkaus tulee nopean ja yksisuuntaisen kulkeutumisen seurauksena epäsymmetriseksi siten, että rannan puoleinen sivu on hyvin jyrkkä. Tämä kuvastaa nopeaa kerrostumista särkän suojapuolella. Kovan tuulen aikana matalan veden särkät voivat siirtyä rantaa kohden jopa useita metrejä tunnissa.

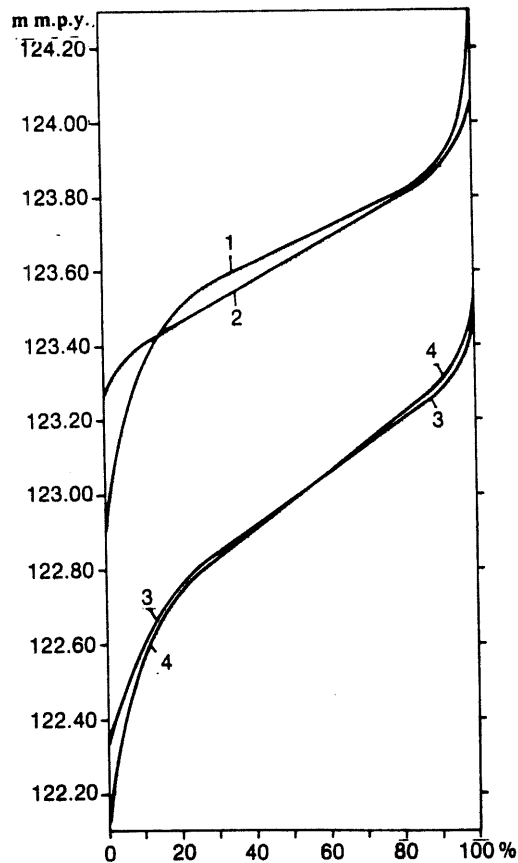
Jos vedenpinta on siis korkealla, ei nopeiden prosessien luonnehtimaa etenevän virtauksen vyöhykettä esiinny. Matalan veden aikana sitä vastoin tämä rannan yläreunaa kuluttava tapahtuma on yleinen. Etenevän virtauksen rajana voidaan pitää noin aallonkorkeutta vastaavaa syvyyttä.

3.3 HUUHTELUVIRTAAUKSEN VYÖHYKE

Vesirajalla tapahtuva huuhtelu on merkityksellinen ilmiö koko rannan kehitystä ajatellen. Huuhtelu on ensinnäkin se aallokon toimintamuoto, joka kuluttaa törmiiä. Huuhteluvirtaukset myös kuljettavat ainesta tehokkaasti kulu-

tuskohdasta viereisille rantaosuuksille kerrostaen sinne kynnäksiä, huuhtelupenkereitä ja rantavalleja. Huuhteluvirtauksen toiminta on sidoksissa voimakkaimmin juuri vedenpinnan tasoon.

Kun vedenpinta on pitkään (monta vuotta) samalla keskimääräisellä tasolla, ja sen vaihtelu on amplitudiltaan samanlainen, muotoutuu luonnontilaisen rannan törmien kuluminen mahdollisimman vähäiseksi. Vastaavasti myös kerrostuminen tapahtuu samassa suhteessa. Tämä säätelyjärjestelmä syntyy nk. törmän tyvikorkeuden perusteella; vain tietyn korkuinen vesivaihe päästää huuhtelun kuluttamaan törmän juurta. Tyvikorkeus siis kuvastaa paikallista vedenkorkeuden vaihtelua (kuva 3), ja sen lisäksi myös aallokon mittasuhteita (so. aallokon huuhtelukorkeutta).



Kuva 3. Oulujärven törmien tyvikorkeuksien jakautumia eri ajankohtina. 1= 1938-39 (N=80 havaintoa), 2= 1945 (N=80), 3= 1963 (N=108), 4= 1968 (N=108). Vyörymistä säätelevän tyvikorkeuden aleneminen on seurausta v.1951 alkaneen säännöstelyn alentamasta vedenpinnasta. (Saukon 1986 aineiston pohjalta laadittu).

Jos vedenpinta nousee vain vähän tämän kriittisen tyvikorkeuden yläpuolelle, on seurauksena kulutuksen nopea lisääntyminen. Kulutuksen aktivoituminen ei kuitenkaan ole rajoittamaton ja pysyvä, vaan törmän tyven eteen nopeasti kerrostuva huuhteleu-penger lisää tyvikorkeutta siten, että se vastaa normaalia huuhtelukorkeutta. Näin ollen ei juuri ole mahdollista, että voimakaskaan vedenpinnan nousu aiheuttaisi pitkäaikaisesti voimakasta törmäkulutusta, vaan törmän eteen tapahtuva kerrostuminen hillitsee prosesseja.

Toisaalta on mahdollista, että vähäkivisessä perusaineksessa kuluminen etenee törmän tyvelle jonkin ajan kuluttua vedenpinnan pysyvän alenemisen jälkeen. Kulumisen alkaa siis uudelleen alemmalta tasolta, jolloin tyvikorkeus järjestyy jo mainittujen kriteereiden mukaiselle korkeudelle mahdollistaen kohtuullisen kulutuksen vuotuisen hydrografisen kierron tulva-aikoina.

4 Y H T E E N V E T O

Vedenpinnan muutos on rantavyöhykkeen kehittymistä eniten säätelevä tekijä. Seuraavassa luetellaan muutamia tärkeimpiä tapahtumia, jotka seuraavat vedenpinnan noususta ja laskusta:

NOUSU

- aallokon koko kasvaa
- rannan syvän osan prosessit vaimenevat ja matalan osan kiihtyvät
- hiekkarannan vedenalainen osa levenee
- ainesvirta voi olla vesirajalta ulapalle päin
- törmäkulutus kiihtyy
- huuhteluvirtauksen aiheuttamat kerrostumat lisääntyvät
- jään reunan toiminta aktivoituu
- kasvipeite irttoa aallokon ja jään toimesta

LASKU

- aallokon koko pienenee
- rannan syvän osan prosessit kiihtyvät
- ainesvirta on pääsääntöisesti vesirajaa kohden
- rantatasanne pyrkii kaventumaan
- törmäkulutus vähenee tai lakkaa
- huuhteluvyöhykkeen kerrostuminen vähenee tai lakkaa
- aikaisemmat vesirajan kerrostumat alkavat kulua
- kasvillisuus lisääntyy
- jään reunan toiminta estyy
- tuulen toiminta aktivoituu paljastuvalla rannan osalla

KIRJALLISUUTTA

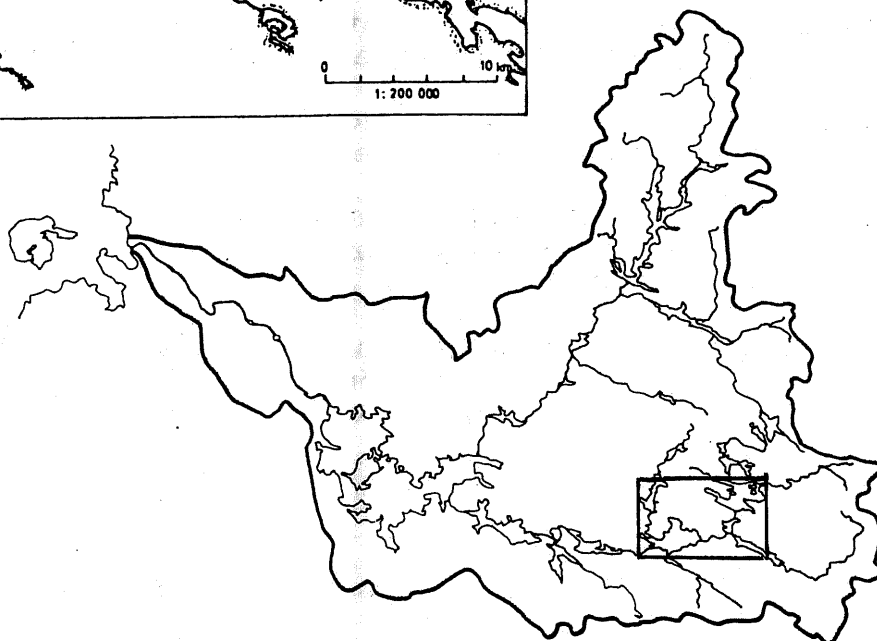
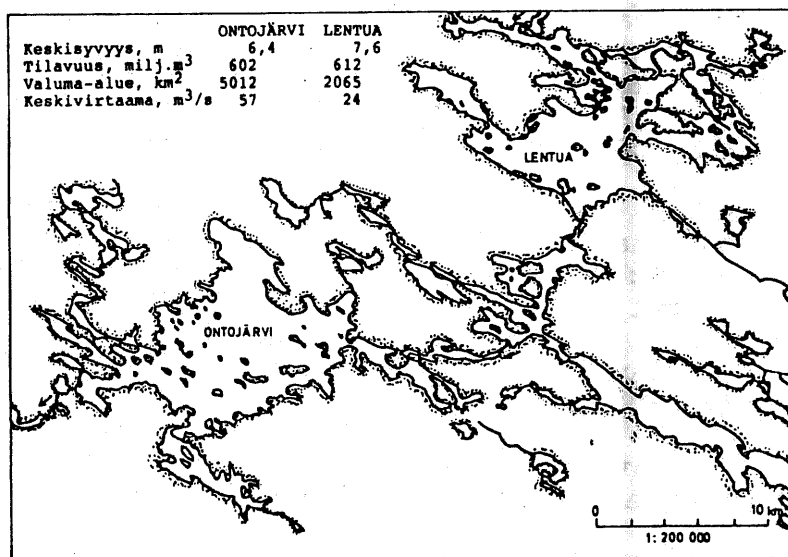
- Alestalo, Jouko & Jukka Häikiö (1979) Forms created by the thermal movement of lake ice in Finland in winter 1972-73. *Fennia* 157:2, 51-92.
- Allen, J.R.L. (1979). A model for the interpretation of wave ripple marks using their wavelength, textural composition, and shape. *Journal of the Geological Society* 136:6, 637-682.
- Bradley, William C. (1958). Submarine abrasion and wavecut platforms. *Bulletin of the Geological Society of America* 69, 967-974.
- Dietz, Robert S. (1963). Wavebase, marine profile of equilibrium, and wave-built terraces: A critical appraisal. *Geological Society of America Bulletin* 74, 971-990.
- Eagleson, P.S. & R.G. Dean (1966). Small amplitude wave theory. Teoksessa Ippen, A. (toim.): *Estuary and coastline hydrodynamics*, 1-92. McGraw-Hill Book Co.
- Huntley, D.A. & A.J. Bowen (1975). Comparison of the hydrodynamics of steep and shallow beaches. Teoksessa Hails, J. & Carr, A. (toim.): *Nearshore sediment dynamics and sedimentation*, 70-121. John Wiley & Sons. Bath.
- Ingle, J. (1966). The movement of beach sand. *Developments in sedimentology* 5. 221pp.
- Keränen, Reijo (1985). Wave-induced sandy shore formations and processes in Lake Oulujärvi, Finland. *Fennia* 19:1, 1-58.
- Komar, Paul D. (1975). *Beach processes and sedimentation*. 429 pp. Prentice Hall. New Jersey.
- Norrman, John O. (1967). Strandens och kustens morfologi och de formskapande processerna. *YMER* 1967, 147-211. 85:5, 613-618.
- Saukko, Pentti (1986). Tulva rantojen sortajana. Oulujärven ja Sotkamon järvien rantatörmien vyöryminen vesistöjen luonnontilassa. *Vesihallituksen tiedotus* 269. 264pp.

Hellsten Seppo & Tikkanen Pertti

SÄÄNNÖSTELYN VAIKUTUS JÄRVEN RANTOJEN RAKENTEeseen JA ELIÖSTÖÖN

1 TUTKIMUSALUEET

Artikkeli perustuu pääosin Pohjois-Suomen järvien säännöstelyn vaikutuksia tutkineen ECOREGU-projektin aikana saatuihin tuloksiin (Hellsten ym. 1988, Tikkanen ym. 1988). Pääasialliset tutkimusjärvet olivat Kuhmon säännöstelemätön Lentua (90 km²) ja säännöstelty Ontojärvi (102 km²) (kuva 1), joissa todettuja ilmiöitä vertailtiin.



0 90 km

Kuva 1. Yleiskuva tutkimusjärvistä.

2 RANTOJEN GEOMORFOLOGIA

2.1 RANTOJEN TYYPITTELY

Tutkimusjärvien rantojen luokittelussa käytettiin Keräsen (1980) kehittämää menetelmää, jossa rannat luokiteltiin vallitsevan prosessin (eroosio, akkumulaatio) ja rantavoiman (aalto, jää) sekä rannan maaperän perusteella taulukossa 1 esitettyihin luokkiin. Ontojärvellä vedenkorkeuden noston vaikutuksesta uusi ranta saattaa olla maaperältään erilainen vanhaan rantaan verrattuna, joten luokittelussa otettiin mukaan myös vedenalainen vanha ranta.

Taulukko 1. Tutkimusalueen geomorfologiset rantatyytit. E = eroosio, A = akkumulaatio, a = aalto, j = jää, s = saviaines, S = sora, M = moreeni, K = kallio, H = hiekka.

LUONNONTILAINEN RANTA	VEDENNOSTON ALLE JÄÄNYT RANTA				
	MOREENI	HIEKKA	TURVE	KALLIO	HARJU
MOREENI	EaM, EAjM	EAajMH	EaMT	EaMK	
HIEKKA	EaHM	EaH, AaH	EaHT	EaHK	EaHS
TURVE	EaTM	EaTH	EaT, EaTs		
KALLIO	EaKM			EaK, EAajK	
HARJU					EaS

Lentuaalla tavataan vain rantatyypppejä, jotka on laatikoitu kaksoisviivalla. Lentuaalla yleisimmät rantatyytit olivat kalliorannat (40 %), kun taas Ontojärvellä tavattiin eniten moreenirantoja, joita oli yli 70 % rannoista. Vedennousun vaikutuksesta muuttuneiden rantatyyppien määrä oli Ontojärvellä vähäinen; ainoastaan 6 % rantatyypeistä oli muuttuneita.

Rantatyyppien tarkastelun selkiyttämiseksi ja ekologisesti keskeisten ominaisuuksien löytämiseksi yhdistettiin eri tyypppejä rantayhdistymätyypeiksi maaperän (moreeni, hiekka, kallio, turve), avoimuuden (avoin, suojainen) ja jyrkkyyden mukaan (jyrkkä, loiva). Avoimuudessa oli raja-arvona kahden kilometrin fetch arvoa (L_f) ja jyrkkyydessä viiden prosentin jyrkkyyttä. Rantayhdistymätyypit olivat seuraavat:

Avoimet jyrkät moreenirannat (**MAJ**)
 Avoimet loivat moreenirannat (**MAL**)
 Suojaiset jyrkät moreenirannat (**MSJ**)
 Suojaiset loivat moreenirannat (**MSL**)
 Avoimet jyrkät hiekkarannat (**Haj**)

Avoimet loivat hiekkarannat (**HAL**)
 Suojaiset jyrkät hiekkarannat (**HSJ**)
 Suojaiset loivat hiekkarannat (**HSL**)
 Suojaiset loivat turverannat (**TSL**)
 Avoimet jyrkät kalliorannat (**KAJ**)

2.2 POHJAN LAATU

Pohjan laatu on eräs keskeisimpiä suureita rannan ekologisia olosuhteita tarkasteltaessa. Pohjan laatuun vaikuttavat rannan maaperä, avoimuus, kaltevuus sekä rantavoimat aallokko ja jää. Vedenpinnan säännöstely aiheuttaa muutoksia rantavoimissa ja etenkin niiden vaikutusalueilla. Säännöstelyn alussa toteutetun vedenpinnan noston vaikutuksesta rantavyöhyke on muuttunut tilapäisesti normaalia jyrkemmäksi ennenkuin rantavoimat ehtivät loiventamaan rantavyöhykkeen entiselleen. Orgaanisen aineksen pysymisen kannalta viiden prosentin kaltevuutta on pidetty tärkeänä (Häkanson 1977, Duarte & Kalff 1986). Pohja on loivemmilla rantavyöhykkeen osilla organogeenista ja jyrkemmällä osilla etupäässä mineroogeenista, mikäli vyöhyke sijaitsee aallokon vaikutusvyöhykkeen alapuolella.

Jos tutkimuksessa valitut rantalinjat edustavat keskimääräistä otosta kohdejärvien rannoista, eikä avoimuuden katsota säännöstelyn aloittamisen yhteydessä merkittävästi muuttuneen, voidaan rantatyyppien jakauman perusteella arvioida jyrkkien ja loivien rantatyyppien osuuden muutosta. Jyrkkien rantojen osuudet ovat lisääntyneet selvästi etenkin avoimilla mutta myös suojaisilla moreenirannoilla. Hiekkarannoilla muuttuminen on ollut huomattavasti vähäisempää.

Säännöstelyn vaikutusten yksinkertaistamiseksi käytettiin yksinkertaista malliajattelua, jossa muutoksen aiheuttajat jaettiin kahteen eri päämuuttujaan:

Vedenkorkeuden noston vaikutuksesta ranta on muuttunut jyrkemmäksi, jolloin rantayhdistymätyyppien jakaumassa on jyrkkien tyyppien määrä odotettua suurempi ja loivien määrä pienempi.

Muuttuneiden rantavoimien (aallokko, jää) aiheuttamien prosessien vaikutuksesta pohjan laatu on muuttunut mineroogeenisemmaksi; hiekkapohjien osuus on suurentunut ja liejupohjien vähentynyt.

Mallin lähtökohtana on Ontojärven rantojen maaperäjakauma, johon säännöstelyllä ei ole vaikutusta. Samoin avoimuusluokkien jakaumaan ei säännöstelyllä ole vaikutusta. Jyrkkyysluokkien jakauma luonnontilassa saadaan käyttämällä vertailujärven Lentuan jyrkkien-loivien rantojen jakaumasuhdetta, jolloin rantayhdistymätyyppien (esim. MAJ, MAL jne.) jakauma on laskettavissa. Pohjanlaatuluokkien jakauma saadaan edelleen käyttäen Lentual-

la havaittua pohjanlaatujaikaumaa. Pohjanlaatuokkien jakauma on siis ennen säännöstelyä vällinnut.

Muuttuneiden prosessien vaikutus on arvioitavissa käyttäen lähtökohtana ennen säännöstelyä vällinnutta pohjanlaatujaikaumaa. Prosessit ovat ennenkaikkiaan vaikuttaneet rantayhdistymätyyppien pohjanlaatuun; laskennassa käytetäänkiin Ontojärvellä havaittuja rantayhdistymätyyppien pohjanlaatua, jolloin muuttamatta rantayhdistymätyyppien jakaumaa saadaan uusi muuttunut pohjanlaatujaikauma.

Vedenpinnan noston vaikutus kohdistuu siis suoraan rannan jyrkkyyteen, jolloin jyrkät rannat yleistyvät. Laskennassa käytetään jyrkät-loivat suhteen laskennassa Ontojärvellä havaittua suhdetta, jolloin saadaan uusi rantayhdistymätyyppien jakauma. Tyyppien pohjanlaatuina käytetään kuitenkin Lentualla havaittua pohjanlaatujaikaumaa, koska muuttuneiden rantavoimien vaikutusta ei oteta huomioon. Laskennan perusteella saadaan uusi muuttunut pohjanlaatujaikauma.

Yhdistettäessä molempien muuttavien tekijöiden vaikutukset on tuloksena Ontojärven tämänhetkinen pohjanlaatujaikauma.

Edelläkuvatun laskennan perusteella on saatu taulukossa 2 kuvattu Ontojärven pohjanlaadun ja kivisyyden jakauma ennen säännöstelyä sekä vedennoston ja muuttuneiden rantavoimien vaikutus siiheen.

Alkutilanne on arviota Ontojärven pohjanlaadun jakaumasta ennen säännöstelyä eli ilman vedenpinnan noston ja muuttuneiden prosessien vaikutusta. Laskennassa on käytetty Ontojärven rantojen maaperäjaikaumaa (muuttumatyypit jätetty pois), joille on laskettu Lentuan jyrkkyyksien ja pohjanlaatusuhteiden perusteella uudet pohjanlaadun jakaumasuhteet. Huomattavaa on liejuisten tai liejupohjien suurehko osuus pohjan pinta-alasta. Muuttuneiden rantavoimien, jotka vaikuttavat aaltoperustan siirtymiseen syvemmälle vedenkorkeuden epäsäännöllisen vaihtelun myötä ja kevättalvella laskeutuvan jään aiheuttama paine, vaikutus pohjanlaatuun on arvioitu rantavoimat sarakkeessa. Ylimmällä vyöhykkeellä turve-kivikorannat olivat huomattavan yleisiä. Liejupohjat olivat yleisiä jo puolen metrin syvyydestä alkaen.

Mallin avulla voidaan eritellä vedennoston ja muuttuneiden prosessien vaikutukset Ontojärven pohjanlaadun jakautumiseen koko järven rantavyöhykkeessä. Vastaavasti Ontojärvestä ja Lentuasta hankittua tietoa voidaan käyttää hyväksi ennustettaessa muutoksia säännöstelyn johdosta jossakin muussa samantyyppisessä järvessä.

Taulukko 2. Pohjanlaadun ja kivisyyden jakauma Ontojärvellä sekä vedennoston ja muuttuneiden rantavoimien aiheuttamat muutokset eriytettynä ja alkutilanne niiden mukaan laskettuna.

SYVYYS- VYÖHYKE cm	POHJAN- LAATU	POHJANLAADUN JAKAUMA %			
		nyky- tilanne	veden- nosto	ranta- voimat	alku- tilanne
0	trv			12,5	12,5
	kvk	12,5	12,5	50,5	32,9
	sr	50,5	32,9	24,1	40,1
	hk	31	48,6	6,9	8,5
	yht.	94	94	94	94
10-50	kvk	12,5	12,5	6,5	6,5
	sr	44	26,4	54,9	53,3
	hk	37,5	55,1	32,6	34,2
	yht.	94	94	94	94
60-100	sr	44	26,4	50,5	32,9
	hk	50	67,6	15,2	34,2
	ljhk			15,3	13,7
	mt			13	13,2
	yht.	94	94	94	94
110-150	sr			6,5	6,5
	hk	66,3	47,3	70,8	65,8
	ljhk	27,7	46,7	14,1	13,9
	mt			2,6	7,8
	yht.	94	94	94	94
160-230	hk	66,2	66,2	59,3	59,3
	ljhk	14,8	14,6	18	13
	mt	13	13,2	16,7	21,7
	yht.	94	94	94	94

2.3 JÄÄN VAIKUTUS

Säännöstelyjärven rantavyöhykkeen ekologisista muuttujista tarkasteltaessa on laskeutuvan jääpeitteen vaikutus erittäin keskeinen. Talvella jääpeitteen laskeutuessa pohjaa vasten muodostuu kolme selvää vyöhykettä. Ylimmällä vyöhykkeellä pohjaan laskeutuneen jään kautta siirtyy kylmyys sedimenttiin, jolloin pohja jäätyy: tässä tarkastelussa käytetään nimitystä jäätyneen pohjan alue. Sen alapuolella jääpeite vain puristuu pohjaa vasten kovettaen sedimentin. Alimmalle vyöhykkeelle ei jään vaikutus ylety ollenkaan.

Jäätyneen vyöhykkeen keskimääräinen alaraja on esitetty taulukossa 3. Ontojärvellä moreenirannat jäätyivät kevättalvella 1985 1,55 metrin syvyyteen, kun taas seuraavana talvena syvyysvyöhyke oli noin metrin syvemmällä. Hiekkarannat routaantuivat molempina talvina miltei puoli metriä syvemmälle talvien välisen eron

ollessa samansuuntainen (taulukko 4). Turverantojen routavyöhyke ulottui ensimmäisenä tutkimustalvena 1,6 metrin syvyyteen, kun taas toisena talvena syvyys jäi yhteen metriin.

Taulukko 4. Routaantuneen rantavyöhykkeen syvyysasema erilaisilla rannoilla molempina tutkimustalvin. Syvyys laskettu Ontojärvellä tasosta NN+ 159.40 ja Lentualla tasosta NN+ 167.91.

	1984 - 1985			1985 - 1986			keskiarvo
	syvyys	SD	n	syvyys	SD	n	syvyys
ONTOJÄRVI, moreeni	1,55	0,45	4	2,55	1,22	4	1,95
hiekkaturve	2,00	0,16	3	2,73	0,98	3	2,37
keskiarvo \bar{x}	1,60	0,56	5	1,01	0,36	5	1,31
	1,68			1,95			3,63
LENTUA, moreeni	-	-	-	-	-	-	-
hiekkaturve	0,30	-	1	0,6	-	1	0,45
keskiarvo \bar{x}	0,50	-	1	0,60	-	-	0,50
	0,40						0,50

Lentualla oli jäätyneen pohjan alueen mittaaminen huomattavasti vaikeampaa, koska vyöhyke oli lähellä rantaa ja jään kairaaminen oli vaikeaa. Kivikkoisilla moreenirannoilla ei luotettavia mittauksia saatu lainkaan. Oletettavasti jäätynyt vyöhyke ulottui miltei samalle tasolle kuin hiekka- ja turverannoilla eli noin puolen metrin syvyyteen (taulukko 4).

Jäätyneen vyöhykkeen syvyydestason määräytymiseen vaikuttaa vedenpinnan korkeustaso, talven pakkassumma, lumen ja jään paksuus sekä maaperä. Tekijöistä kaksi ensiksi mainittua ovat ilmeisesti jäätyneen kannalta keskeisiä. Ontojärvessä pohjan jäätyminen etenee sille tasolle, joka jäi kuiville helmikuun loppupuolelle mentäessä.

3. KASVILLISUUS

3.1 MUUTOKSET LAJISTOSSA

Säännöstelyn vaikutusta makrofyyttiseen vesikasvillisuuteen voidaan selvittää tarkastelemalla muutoksia lajistossa, elomuotoryhmissä ja kasvillisuudessa. Lajistotutkimukset ovat olleet suosittuja, koska lajisto reagoi herkästi ekologisten olosuhteiden muutoksiin. Lajistotutkimuksia on käytetty Suomessa erittäin yleisesti säännöstelytutkimuksissa (esim. Granberg & Hakkari 1980, Karlson & Peura 1981, Hakkari ym. 1983, Anttonen-Heikkilä 1983). Myös huomattavimmat ulkomaiset tutkimukset ovat tarkastelleet lajistoa (Nilsson 1981, Rørslett 1985).

Seuraavassa tarkastellaan tutkimusjärvien kasvillisuutta lähinnä elomuotojen perusteella ja verrataan yleisimpien rantayhdistymätyyppien tilannetta.

Avointen moreenirantojen kasvillisuus oli molemmilla järvillä hyvin niukkaa; ainoastaan Lentualla isoetidit muodostavat harvahkoa kasvillisuutta tyrskyvyöhykkeen alapuolelle.

Avointen loivien hiekkarantojen kasvillisuus oli etenkin Lentualla runsasta ja monipuolista. Muita yleisiä rantatyypppejä ovat Lentualla yleinen avoin loiva moreeniranta, jonka kasvillisuus oli pääosin helofyyttien ja isoetidien muodostamaa.

Turverantojen kasvillisuus oli molemmilla järvillä sangen monipuolista ja siinä olivat edustettuina miltei kaikki elomuodot. Kalliorannat ovat ainoa rantatyyppi, jolla kasvillisuus oli Ontojärvellä selvästi yleisempää kuin Lentualla.

Vuosien väliset lajisto- ja runsausmuutokset olivat miltei samankaltaisia molemmilla tutkimusjärvillä. Ainoan selvän poikkeuksen muodosti Ontojärven jäätyvä rantavyöhyke, joka oli epävakaata aluetta. Kasvillisuuden suhteellinen runsaus oli Lentuan sublitoraalilla Ontojärveä selvästi korkeampi, mutta muilla vyöhykkeillä suuruusluokat olivat samoja. Keskimääräinen lajimäärä oli Lentualla kaikilla vyöhykkeillä Ontojärveä suurempi.

Tässä tutkimuksessa keskityttiin pääasiassa kuvaamaan säännöstelyn vaikutusta **kasvistoon**, jota voidaan toisaalta käyttää myös kasvillisuuden indikaattorina. Verrattaessa Ontojärven ja Lentuan kasvistoa voidaan tarkastelun pohjaksi ottaa yleisyys ja runsaussuhteet.

3.2 EKOLOGISET MUUTTUJAT

Ranta- ja vesikasvit asettuvat vyöhykkeittäin ranta-alueelle **veden syvyyden** aiheuttaman gradientin mukaisesti. Vesisyvyys edustaa eräänlaista ekologisten tekijöiden summaa, johon liittyy suuri joukko muuttujia. Ekologisista muuttujista ovat tärkeimpiä valo, veden korkeuden vaihtelu, jään vaikutus, pohjan laatu ja avoimuus.

Lehtivihreää sisältävillä kasveilla **valo** on luonnollisesti keskeisin muuttuja, joka on määräämässä kasvien esiintymistä. Valon vaikutus vaihtelee voimakkaasti kasvin elomuodosta riippuen. Veden valoilmasto on suoraan verrannollinen veden väriin ja sameuteen (Eloranta 1978). Valoa ei tässä yhteydessä tarkastella varsinaisena kasvillisuusmuuttujana, koska valoilmasto on järvissä pääosin samanlainen eikä säännöstelyllä ole Ontojärvessä oleellista vaikutusta veden väriin. Vesikasvillisuuden alaraja noin 2 metriä on kuitenkin miltei sama kuin em.

eufoottisen vyöhykkeen alaraja. Ontojärveä säännöstel-
lään kasvillisuuden alarajan alapuolelle.

Taulukko 5. Tutkimusjärvillä tavattujen kasvilajien ekolo-
ginen jako. Ind = indifferentti, GAM = geoamfibiontti,
HAM = hydroamfibiontti, HYf = hydrofyytti, Fr = jäätyvää
vyöhykettä sietävät, Ice = jäänpainumavyöhykettä sietä-
vät, T-M = turve- ja mutapohjan lajit, T-K = turve- ja
kivikkopohjan lajit, KSH = kivi-, sora- ja hiekkapohjan
lajit, HlH = hiekka- ja liejuisen hiekkapohjan lajit,
lHM = liejuisen hiekan ja mudan lajit. Luokittelu A - F
on selitetty jäljempänä tekstissä.

	Vedenkorkeus				Jää			Pohjan laatu						Luokka
	Ind	GAM	HAM	HYf	Ind	Fr	Ice	Ind	T-M	T-K	KSH	HlH	lHM	
Sub. aqu.	x				x			x						A
Jun. bul.	x				x						x			
Ran. rep.	x				x							x		
Phr. aus.	x				x							x		
Ele. aci.	x				x								x	
Ela. hyd.	x				x								x	
Call. sp.	x				x								x	B
Lys. thy.		x			x			x						
Ali. pla.		x			x				x					
Car. las.		x			x				x					
Cala. sp.		x			x						x			
Pot. pal.		x			x						x			
Mol. cae.		x			x						x			
Jun. fil.		x			x									
Jun. alp.		x			x						x			
Ele. pal.		x			x								x	
Equ. flu.			x		x			x						C
Car. ros.			x		x				x					
Utr. vul.				x	x				x					D
Cha. sp.				x	x								x	
Spa. sp.				x	x								x	
Spa. juv.				x	x								x	
Nup. lut.				x		x			x					E
Pot. nat.				x		x			x					
Lob. dor.				x		x						x		
Iso. ech.				x		x							x	
Iso. lac.				x			x						x	F

Tässä tutkimuksessa lajiston suhtautumista eri ekologi-
siin muuttujiin on tarkasteltu luokittelun avulla. Pää-
muuttajat ovat vedenkorkeuden vaihtelu, jään vaikutus ja
pohjan laatu. Avoimuuden vaikutusta ei ole otettu huomi-
oon, koska kasvi voi reagoida mukautuvasti aallokkoon ja
vaihtaa esiintymishabitaattinsa toiseksi.

Taulukossa 5 esitetään yleinen ekologinen jaottelu, joka
perustuu molemmilta tutkimusjärvillä koottuun aineis-
toon. Lajisto on luokiteltu seuraavasti;

A. Jäätymistä ja jään painumista kestävät vedenkorkeus-
indifferentit lajit

B. Jäätymistä ja jään painumista kestävät geoamfibiontit
lajit

C. Jäätymistä ja jään painumista kestävät hydroamfibion-
tit lajit

D. Jäätymistä ja jään painumista kestävät hydrofytyt lajit

E. Jäätynyttä vyöhykettä karttavat hydrofytyt lajit

F. Jäänpainumavyöhykettä karttavat hydrofytyt lajit

3.3 KASVISTON FREKVENSII-MALLI

Tämän työn yhteydessä kehitettiin yksinkertainen frekvenssimalli, joka perustuu ajatukseen, että jokaisella lajilla on oma optimaalinen esiintymisalueensa, joka on määräytynyt ekologisten olosuhteiden mukaan. Mallissa voidaan käyttää perusyksikkönä lajia tai kasvillisuutta; alkuvaiheessa keskitytään lajiston tarkasteluun. Mallin rakenne on esitetty kuvassa 2.

Tarkastelun kohteeksi valittiin suurehkon indikaattoriarvon omaavia ekologisesti merkittäviä lajeja. Mallitettavana suurena käytetään yleisyyttä eli esiintymisfrekvenssiä. Ekologisina muuttujina, jotka määräävät kasvien esiintymisalueen, käytetään vedenkorkeuden vaihtelua, jään vaikutusta ja pohjan laatua.

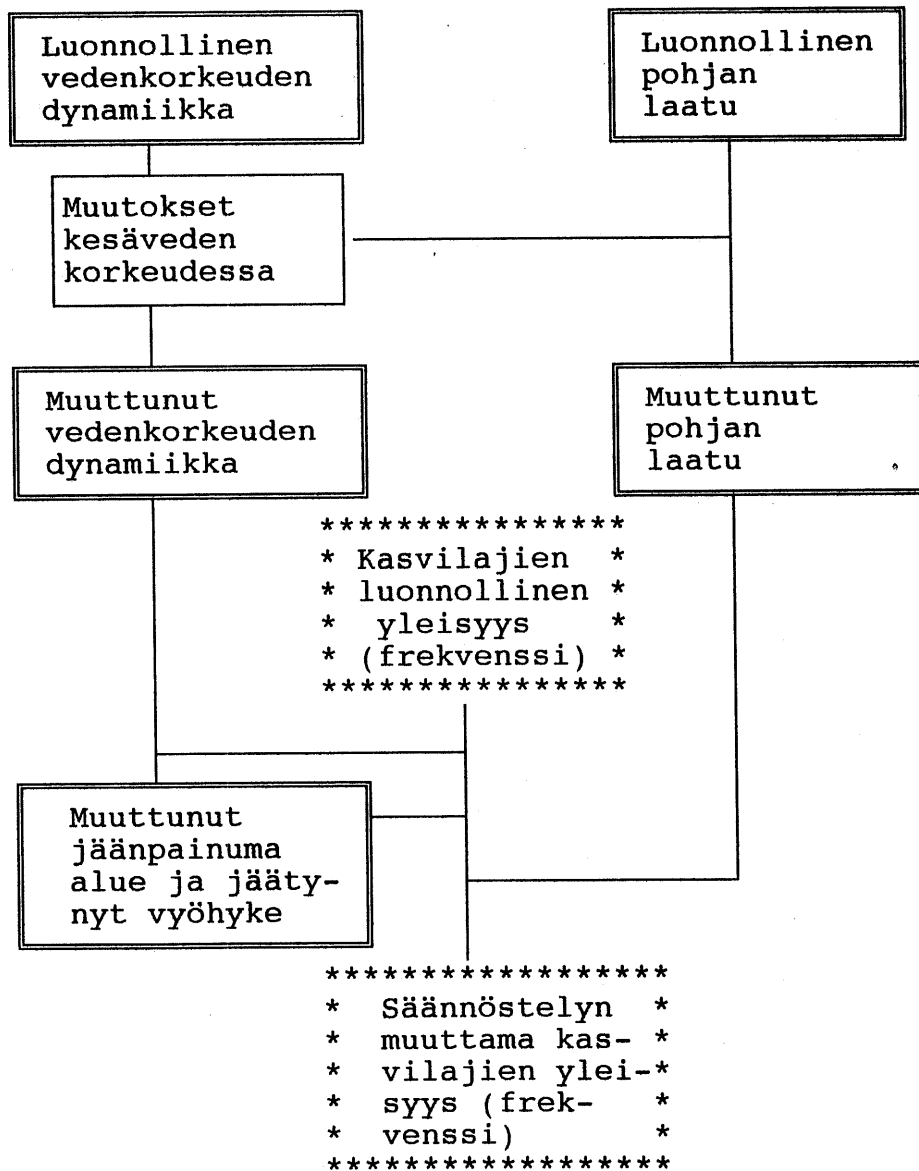
Laskenta aloitetaan sijoittamalla lajin Lentualla mitattu frekvenssi aloitusarvoksi ja malli laskee ensin optimaalisen vedenkorkeusvyöhykkeen. Seuraavana malli vertailee vyöhykkeiden frekvenssiä Lentuassa ja Ontojärvesä laskien samalla eron suuruuden prosentteina. Samalla tavoin menetellään myös jäänvaikutusvyöhykkeiden ja pohjanlaadun suhteen. Lopuksi saadaan suhteellinen prosenttiluku, jolla kerrotaan Lentuan frekvenssi ja saadaan ennustettu frekvenssi.

Taulukossa 6 on esitetty mallin avulla laskettu ja Ontojärvellä havaittu yleisyys. Tulosten oikea suunta näyttää lupaavalta; ainoastaan Isoetes echinosporan frekvenssiä malli on pienentänyt, vaikka todellisuudessa laji on yleistynyt. Syynä tähän ilmiöön on ilmeisesti kilpailu, jota malli ei lainkaan ota huomioon; Isoetes echinospora heikkona kilpailijana on vallannut I. lacustrikselle ja Lobelialle kuuluvia alueita.

Taulukko 6. Lentualla havaittuja yleisyyksiä (fr.%) ja niiden avulla Ontojärvellä ennustettuja ja havaittuja yleisyyksiä tärkeimpien vesikasvilajien osalta.

	Lentua hav.fr.%	Ontojärvi enn.fr.%	hav.fr.%
<u>Ranunculus reptans</u>	8.0	11.4	9.8
<u>Lobelia dortmanna</u>	12.2	5.9	0.1
<u>Isoetes echinospora</u>	11.4	8.5	11.6
<u>Isoetes lacustris</u>	20.4	0	0.1
<u>Subularia aquatica</u>	5	5.1	6
<u>Potamogeton natans</u>	0.9	0.7	0.5
<u>Callitriche sp.</u>	0.4	0.6	1.5
<u>Equisetum fluviatile</u>	7.1	4.5	1.7
<u>Phragmites australis</u>	6.9	2.7	0.5

Säännöstelyn vaikutuksesta suurikokoisten isoetidien yleisyys laskee huomattavasti, kun taas pienikokoisten isoetidien määrä kasvaa. Erityisen selvä väheneminen tapahtuu myös suurikokoisten helofyyttien määrässä. Muissa elomuotoryhmissä vähennykset ovat sen sijaan lajikohtaisia.



Kuva 2. Frekvenssi-mallin rakenne

Mallin rakenne on yksinkertainen. Se toimii ilman mitään tietoa Ontojärven kasvistosta käyttäen periaatteessa ainoastaan hydrografisia ja geomorfologisia peruskartalta havaittavissa olevia havaintoja. Mallin toiminta perustuu kuitenkin siihen, että Ontojärvellä on ollut ennen säännöstelyä samankaltainen vesikasvillisuus kuin Lentualla. On oletettavaa, että Lentuan kaltaisen suurjärven kasviston frekvenssiarvoja voidaan soveltaa myös muihinkin Kainuun järviin.

4 POHJAEELÄIMISTÖ

4.1 KOOSTUMUS

Biomassaerot linjojen välillä olivat selvät: Lentuan moreenilinjan linjan eläimistön massa oli selvästi suurin, Ontojärven hiekkalinjan alhaisin. Molemmissa järvissä oli moreenilinjan eläimistön massa suurempi kuin hiekkalinjalla. Lentualla päivänkorennot olivat biomassaltaan huomattavin ryhmä, Ontojärvellä punkit ja surviaissääsket. Surviaissääsket muodostivat kaikilla linjoilla huomattavan osan yksilötiheydestä, erityisesti järvien hiekkapohjaisilla rannoilla.

Sekä hiekka- että moreenilinjalla olivat pohjaeläinten biomassat Lentualla korkeammat kuin Ontojärvellä (taulukko 7); ero oli vuonna 1984 pienempi kuin kahta vuotta myöhemmin. Lisäksi oli eroa eläinryhmien hallitsevuudessa.

Taulukko 7. Vertailujärvien hiekka- ja moreenilinjoiden pohjaeläinryhmien keskimääräiset biomassat (mg/m^2) sekä arvojen suhde. Moreenilinjoiden massat vuosien 1984 ja 1986 keskiarvot, hiekkalinjoilla vain vuoden 1984 massat.

	HIEKKA			MOREENI		
	LE	ON	suhde	LE	ON	suhde
MOLLUSCA	66.4	11.3	5.6/1	186.3	48.2	3.9/1
OLIGOCHAETA	173.5	22.6	7.7/1	129.1	60.8	2.1/1
ACARINA	23.6	64.5	1/2.7	46.4*	126.6*	1/2.7*
EPHEMEROPTERA	245.2	11.8	20.8/1	520.5	21.7	24.0/1
TRICHOPTERA	9.3	4.2	2.2/1	198.5	58.2	3.4/1
CHIRONOMIDAE	287.7	351.8	1/1.2	323.4	217.2	1.5/1
CERATOPOGONIDAE	9.0	9.0	1/1	15.1	9.5	1.6/1
MUUT	45.5	0.7	65.0/1	20.6	24.1	1/1.2
YHTEENSÄ	860.1	479.3	1.8/1	1474.4	505.2	2.9/1

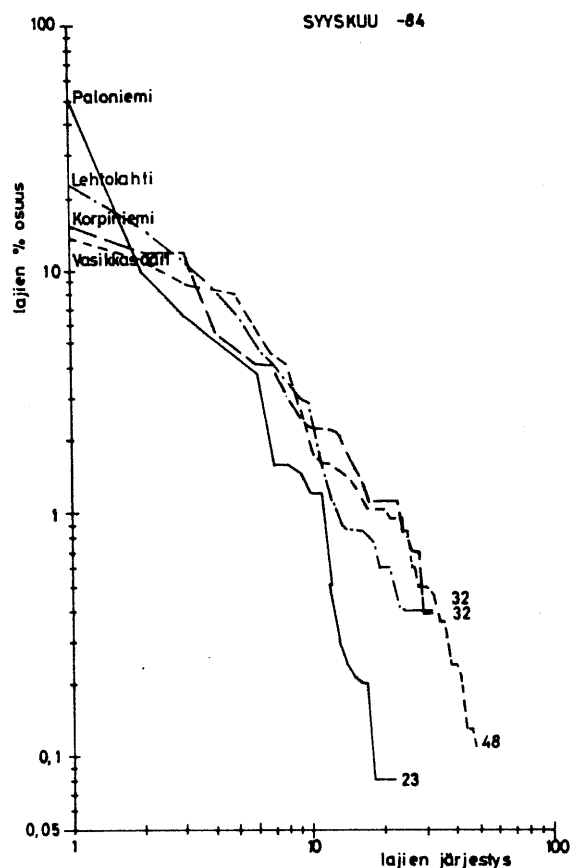
* : vain vuoden 1984 massat

LE: Lentua (hiekkalinja Lehtolahti, moreenilinja Vasikkasaari)

ON: Ontojärvi (hiekkalinja Paloniemi, moreenilinja Korpiniemi)

Erot järjestys-runsaus -käyrien muodoissa kuvaavat linjojen monimuotoisuuksien eroja (kuva 3). Esimerkiksi syyskuussa 1984 oli Lentuan moreenilinjan (Vasikkasaari) käyrä selvimmin muista poikkeava ja monimuotoisuutta osoittava. Käyrä on loivasti laskeva, koska runsaimman lajin osuus oli noin 11 % ja lajimäärä oli korkea. Ontojärven hiekkalinjan (Paloniemi) käyrä on jyrkimmin laskeva ja monimuotoisuus on alhainen. Ontojärven moreenilinjan (Korpiniemi) ja Lentuan hiekkalinjan (Lehtolahti) käyrät ovat edellisten välissä eikä näiden kahden välil-

lä voi havaita eroja. Piirteet ovat selvät sekä käyrän muodon että taksoniluvun osalta.



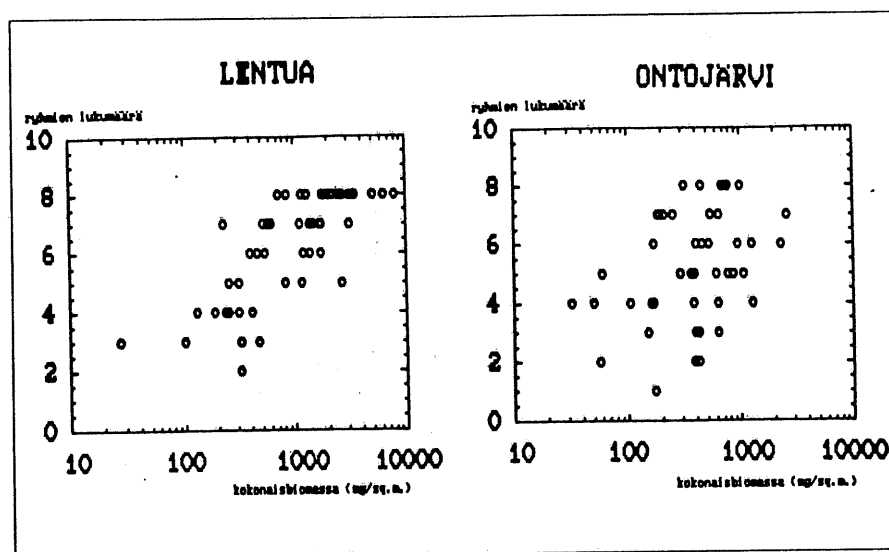
Kuva 3. Pohjaeläinlinjojen eläimistön monimuotoisuus syyskuussa 1984. Lajien osuus kokonaisyksilömäärästä runsausjärjestyksessä sekä taksonimäärä.

Keskimääräisissä yksilöbiomassoissa oli jonkin verran vaihtelua kuukausien välillä. Ontojärven arvot olivat Lentuan arvoja alhaisemmat. Lentualla yksilöpainot olivat korkeimmillaan 0,5 - 2,0 metrin asemilla, Ontojärvellä 3,0 - 6,0 metrin asemilla. Keskimäärin yksilömassat vaihtelivat Lentualla välillä 1,0 - 1,7 mg ja Ontojärvellä välillä 0,3 - 0,8 mg.

Koko litoraali mukaanlukien olivat **yksilökoot** suuruusjärjestyksessä: Lentuan suojainen kasvillisuusranta 1,59 mg, Lentuan avoin moreeniranta 1,36 mg, Lentuan avoin hiekkaranta 1,21, Ontojärven avoin moreeniranta 0,68 mg ja Ontojärven avoin hiekkaranta 0,55 mg.

Ryhmätasoisien **monimuotoisuuden** suhteen järvet olivat erilaisia. Lentuan aineistossa eläinryhmien määrä korreloi massan kanssa (kuva 4, järjestyskorrelaatiokerroin 0.77, $p < 0,001$), säännöstellyissä ei havaittu vastaavaa

suhdetta (0.22, $p < 0.125$). Eläinryhminä käsiteltiin tässä yhteydessä seuraavia kahdeksaa luokkaa, laukoa tai heimoa: nilviäiset (kotilot ja simpukat), harvasukamadot, vesipunkit, päivänkorennot, vesiperhoset, surviaissääsket, polttiaiset sekä omana ryhmänään kaikki muut. Lentuassa siis korkeaa kokonaismassaa ylläpitävät olosuhteet johtavat todennäköisemmin useiden ryhmien esiintymiseen, Ontojärvessä korkean massan muodostavat todennäköisemmin vain muutamat ryhmät.



Kuva 4. Pohjaeläinryhmien määrän suhde eläimistön kokonaismassaan Lentualla ja Ontojärvellä 1984-1986.

Eräiltä Kainuun järviltä kerättiin suppeahko pohjaeläinaineisto syksyllä 1984. Säännöstelyjärvien pohjaeläinmäärät olivat ylälitoraalissa säännöllisesti alemmat kuin säännöstelemättömissä. Tästä oli poikkeuksena Nuasjärvi, jonka kesäaikaista vedenkorkeutta ei ole käytännöllisesti katsoen nostettu. Keskimäärin olivat valaistun litoraalin eläinmäärät luonnontilaisissa järvissä seuraavat: Lentua 3.02 mg/m^2 (vaihteluväli 1.71-7.19), Änättijärvi 1.98 (0.56-2.79) ja Lammasjärvi 1.13 (0.37-1.70). Vastaavat arvot säännöstellyissä järvissä: jo mainittu Nuasjärvi 2.53 (0.73-5.43), Ontojärvi 0.57 (0.22-1.16) ja Vuokkijärvi 0.83 (0.06-2.28). Näissä järvissä havaittiin entuudestaan tuttu ilmiö: alarajan alueen suuri surviaissääskien toukkien määrä.

4.2 EKOLOGISET MUUTTUJAT

Pohjaeläimistön määrässä ja koostumuksessa on tiettyä säännönmukaisuutta: tietyllä habitaatilla tavataan todennäköisesti samankaltainen eläimistö. Sekä koostumuksessa että määrässä on aina mukana tietty satunnaisuuden komponenttinsa. Voidaan ajatella, että tietyille habitaa-

tille muodostuu eläinyhteisö tietystä mahdollisesta lajipoolista valikoitumalla melkoisen sattumanvaraisesti.

Pohjaeläinten elinkierto-ominaisuuksista seuraa, että saman paikan lajikoostumus vaihtelee kovastikin esimerkiksi vuoden mittaan. Pohjaeläinten määrä vaihtelee ajallisesti ehkäpä lajikoostumusta enemmän. Eläinyhteisö on tuskin koskaan tasapainotilassa eli että lajit hyödyntäisivät resurssejaan maksimaalisesti ja lajienvälinen kilpailu pitäisi populaatiot kurissa. Näin voi olla toki hetkellisesti. Tavallisempaa lienee, että ympäristön fysikaaliset katastrofit (kuivuminen, sedimentin liikkuminen) karsivat eläinten määriä, samoin vesihyönteisten suurimittaiset aikuistumiset. Näin tarjolla on jatkuvasti vapaita elinympäristöjä, eivätkä ravintoresurssit ole koskaan rajoittavia (ravinto voi toki olla pohjaeläinten määrää rajoittava tekijä pitkällä aikavälillä keskimäärin). Lisäksi kalojen aiheuttama saalistus saattaa karsia populaatioita alle ympäristön kantokyvyn.

Edellä esitetystä seuraa, että pohjaeläimistön koostumusta ja määrää ennustettaessa joudutaan turvautumaan yleistykseen. Hetkellisen lajikoostumuksen ja määrien sijaan kannattaa keskittyä keskimääräisiin arvoihin (esim. kesän eläinmäärien keskiarvo, loppukesän eläinmäärä, dominoivien lajien ennustaminen).

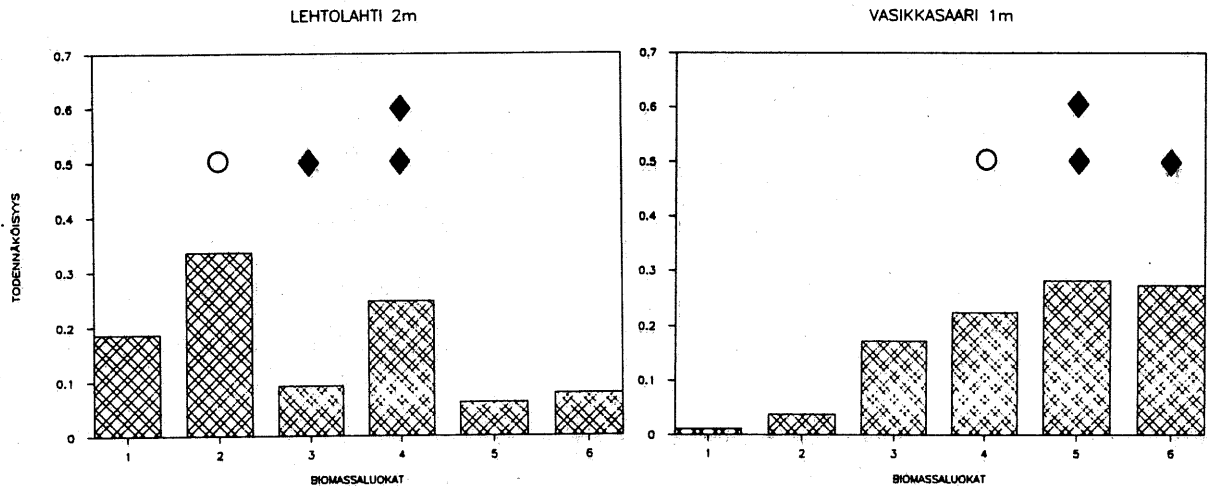
Yksi lähestymistapa on jakaa järven rantavyöhyke tyypillisiin habitaatteihin, toiminnallisiin pohjan aloihin, joiden eläimistössä on säännönmukaisuutta. Eläimistön kannalta tärkeät ympäristömuuttujat mitataan ja niiden perusteella ennustetaan pohjaeläimistön määrää ja koostumusta. Tausta-aineistoksi vaaditaan laajahko pohjaeläinaineisto, joka kattaa useammanlaisia habitaatteja mielellään useilta ajankohdilta.

ECOREGU-projektin yhteydessä edellä kuvattua tarkastelutapaa on kokeiltu. Tausta-aineistona käytettiin Lentuasta ja Ontojärvestä kerättyä pohjaeläinaineistoa ja ympäristötietoja. Laskentamenetelmänä käytettiin erotteluanalyysiä (ks. mm. Wright ym. 1984, Moss ym. 1987). Ennustettavana luokittelumuuttujana oli pohjaeläinten biomassa ja ympäristön ominaisuuksia mitattiin 7-8 enimmäkseen järjestysasteikolla mitatulla muuttujalla. Analyysin monimuuttujaluonteeseen kuuluu, että muuttujien mahdollinen yhteisvaikutus tulee otetuksi huomioon.

Esimerkinomaisesti on kuvassa 5 kahdelle näyteasemalle laskettu todennäköisyys, että aseman eläimistön massa kuuluu kuhunkin luokkaan. Lisäksi on esitetty todelliset, havaitut pohjaeläinmassat.

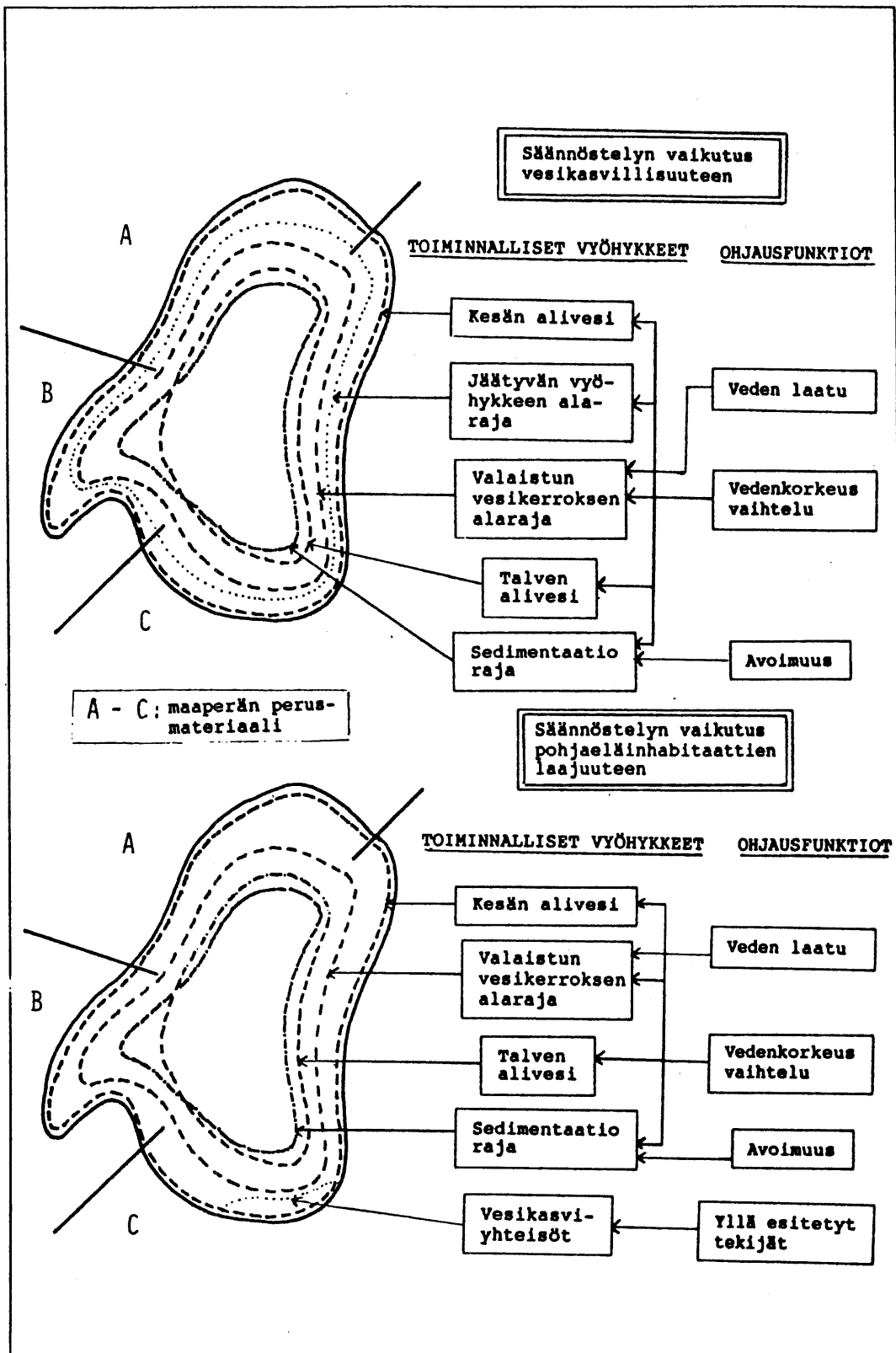
4.3 HABITAATIT

Pohjaeläimistöä tarkastelteltaessa pohja voidaan käsitellä joukkona habitaatteja, joiden pohjaeläimistön koostumus ja määrä ovat ennustettavissa. Habitaatit voidaan ajatella geomorfologisten ja hydrologisten tekijöiden muokkaamiksi kokonaisuuksiksi, joihin on kehittynyt olosuhteita vastaava kasvillisuus. Habitaatit ovat toiminnallisten rajojen erittelemiä pohjan aloja. Pääjaottelu on edellä luonnehdittu päärantatyyppi-jaottelu, josta edelleen yksinkertaistettuna ovat rannat jaettavissa maaperän perusmateriaalin avulla moreeni-, hieka-, kallio- ja turverannoiksi. Rannan avoimuus ja jyrkkyys määräävät pohjan laadun kullakin tyyppillä.



Kuva 5. Kahdelle Lentuan pohjaeläinnäyteasemalle (Vasikkasaari = moreeniranta, Lehtolahti = hiekkaranta) erotteluanalyysillä laskettu todennäköisyys sille, että aseman eläimistö kuuluu kuhunkin kuudesta biomassaluokasta. Lisäksi havaittujen, todellisten biomassamittauksen sijoittuminen luokkiin. (luokka 1 = alle 0.32 mg/m²; 2 = 0.32-0.75; 3 = 0.75-1.30; 4 = 1.3-2.00; 5 = 2.00-2.90; 6 = yli 2.90).

Yhteenveto geomorfologisten tekijöiden, vesikasvillisuuden ja pohjaeläinhabitaattien muodostumisesta on esitetty kuvassa 6. Järven kaikille rannoille yhteisen toiminnallisen perusrajan muodostaa veden valaistun vyöhykkeen alaraja, jossa voi luonnollisesti olla järven sisällä alueittaista vaihtelua. Valaistun vesikerroksen mittana voidaan käyttää veden väriä, sameissa ja rehevissä järvissä näkösyvyyttä. Valaistun vesikerroksen mukaan mää-



Kuva 6. Säännöstelyn vaikutus vesikasvillisuuteen ja pohjaeläinhabitaattien laajuuteen

räytyy vesikasvillisuuden ja pohjalevästön esiintymisen alaraja.

Edellä esitettyjen muuttujien perusteella voidaan arvioida rannan kasvipeite. Kasvipeitteen merkitys pohja-eläimistön kannalta on kaksijakoinen; se tarjoaa fyysisen suojan ja on toisaalta pohjalevästön esiintymisalusta ja orgaanisen aineksen pidättäjä. Toinen tärkeä toiminnallinen perusraja on rannan avoimuuden ja jyrkkyyden perusteella määräytyvä sedimentaatoraja. Rajan määrää taso, jolta alkaen orgaanisen aineksen nettosedimentaatio on positiivinen. Rannan kasvipeite voi kuitenkin suojaavalla vaikutuksellaan muuttaa tätä rajaa ylemmäksi. Vedenkorkeusvaihtelut säätelevät kolmea perusrajaa. Nämä ovat kesän aliveden taso, talvella jäätyvän vyöhykkeen alaraja sekä kevättalven aliveden taso (jäänpainumavyöhykkeen alaraja). Perusrajojen vyöhykkeet ovat osittain päällekkäisiä ja rajat voivat mennä ristiin saman järven sisällä.

Esitettyä yleiskuvausta voidaan tarpeen mukaan yksinkertaistaa. Pohjaeläinten kannalta tärkeimmät vyöhykkeet ovat seuraavat. Ylimpänä on jäätymiselle, kuivumiselle ja eroosiolle altis **katastrofivyöhyke** (ks. Palomäki 1987). Seuraava päätoiminnallinen vyöhyke on valaistusein kasvillisuuden peittämä **perifytonvyöhyke**, joka on aina vedenpinnan alapuolella. Rannan avoimuudesta ja jyrkkyydestä riippuen on sen alapuolella tai joskus jopa yläpuolella **sedimentaatiovyöhykkeen** yläraja. Tämä vyöhyke käsittää pääosan järven pohjan pinta-alasta.

KIRJALLISUUS

Anttonen-Heikkilä K. 1983: Säännöstelyn vaikutuksista Oulujärven ranta- ja vesikasvillisuuteen. - Vesihallitus, Tiedotus 231, Helsinki 1983, 75 s.

Duarte C.M. & Kalff J. 1986: Littoral slope as a predictor of the maximum biomass of submerged macrophyte communities. - Limnol. Oceanogr. 31(5), 1986, 1072-1080.

Eloranta P. 1978: Light penetration in different types on lakes in Central Finland. - Holarct. Ecol. 1, 362-366.

Granberg K. & Hakkari L. 1980. Säännöstelyn vaikutuksista eräiden Kainuun järvien limnologiaan. - Vesihallituksen tiedotus 187. 95 s.

Hakkari L., Anttila M., Granberg K., Kolari I., Kurttila I. & Virkki L. 1983: Lappajärven ja Evijärven säännöstelytutkimus v. 1982. - Jyväskylän yliopisto, Ympäristöntutkimuskeskus, Jyväskylä 1983, 252 s. + 19 liitt.

Hellsten, S., Neuvonen, I., Alasaarela, E., Keränen, R., ja Nykänen, M. 1988: Säännöstelyn vaikutus rannan geomorfologiaan ja vesikasvillisuuteen. 133 s.

Håkanson L. 1977: The influence of wind, fetch and water depth on the distribution of sediments in Lake Vänern, Sweden. - Can. J. Earth Sci. 14: 397-412.

Karlson A. & Peura P. 1981: Ol. Pyhäjärven vesikasvitutkimus v. 1981. - Moniste 41 s.

Keränen, R. 1980. Säännöstelyn vaikutuksesta Oulujärven rantoihin. Oulujärvi tutkimuksia, Raportti 2. Oulu, Nordia tiedonantoja 5. 55 s.

Moss D., Furse M.T., Wright J.F. & Armitage P.P. 1987: The prediction of the macroinvertebrate fauna of unpolluted running-water sites in Great Britain using environmental data. - Freshw. Biol. 17, 41-52.

Nilsson C. 1981: Dynamics of the shore vegetation of a North Swedish hydro-electric reservoir during a 5-year period. - Acta Phytogeogr. Suec. 69, 1-69.

Palomäki R. 1986: Säännöstelyn vaikutukset kalojen ravintoeläimiin. - Moniste. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, kalantutkimusosasto. 23 ss.

Rørslett B. 1985: Regulation impact on submerged macrophyte communities in some Norwegian lakes. - Academic dissertation, Oslo 1985, 21 s.

Tikkanen, P., Kantola, L., Niva, T., Hellsten, S. ja Alasaarela, E. 1988: Säännöstelyn vaikutus järven pohja-eläimistöön ja aikuisten kalojen ravintoon. 95 s.

Wright J.F., Moss D., Armitage P.D. & Furse M.T. 1984: A preliminary classification of macro-invertebrate species and the prediction of community type using environmental data. - Freshwater Biology 14, 221-256.

Erkki Ollila

SÄÄNNÖSTELTYJEN JÄRVIEEN KUNNOSTAMINEN

1 YLEISTÄ

Oulujoen vesistön säännöstely aloitettiin 1950-luvulla. Vesistön suurimmat järvet on tehokkaasti säännöstelty voimatalouden tarpeita varten. Järvet on yleensä säännöstelty siten, että säännöstelyn yläraja on luonnontilaisen rantaviivan yläpuolella. Veden alle jääneiltä alueilta puusto kaadettiin ennen säännöstelyn aloittamista, mutta kannot jäivät raivaamatta. Vesialueen kannokot häiritsevät suuresti järvien kokonaisilmettä ja rajoittavat esimerkiksi kalastusta ja veneliikennettä.

2 KOHDEJÄRVIEEN KUVAUS

2.1 VUOKKIJÄRVI

Suomussalmen kunnassa sijaitseva Vuokkijärvi on Hyryn-salmen reittiin kuuluvan Vuokin vesistön keskusjärvi. Niippaan säännöstelypadon kautta järvi laskee Emäjokeen ja edelleen Oulujärveen. Järven pinta-ala säännöstelyn ylärajalla on 56,5 km² ja rantaviivan pituus noin 220 km.

Vuokkijärven säännöstely on Suomen oloissa hyvin voimakasta; suurin sallittu säännöstelyväli on 6,00 m. Säännöstelyn yläraja on 1,39 m ylempänä kuin korkein havaittu luonnontilaisen kauden tulvahuippu, ja entiseen metsänkasvun alarajaan verrattuna vastaava ero on 3,35 m. Säännöstelyn alaraja puolestaan on 2,19 m alempi kuin luonnontilainen alivesi. Keskivesi on nykyisin 1,58 m korkeampi kuin ennen säännöstelyä. Alin vedenkorkeus saavutetaan yleensä huhtikuussa, minkä jälkeen sulamisvedet nostavat vedenpinnan nopeasti noin 3 m luonnontilaisen keskiveden yläpuolelle.

Säännöstelyn näkyvimpiä seurauksia ovat padotusalueen raivaamattomat kannot sekä suoperäisissä lahdissa ja etenkin järven itäosassa pintaan nousseet, useiden hehtaarien suuruiset turvelautat. Paikoin esiintyy myös rantavyörymiä. Keväisen aliveden aikana maisemaa hallitsee veden alta laajalti paljastuva mutainen pohja.

2.2 Kiantajärvi

Kiantajärvi sijaitsee myös Suomussalmen kunnassa. Järven pinta-ala säännöstelyn ylärajalla on 209,3 km² ja rantaviivan pituus on noin 550 km.

Säännöstely on tuonut olennaisia muutoksia järven vedenkorkeusvaihteluun. Suurin sallittu säännöstelyväli on 4,00 m. Säännöstelyn yläraja on likimain sama kuin v. 1943 havaittu luonnontilaisen kauden ylivesi. Entinen metsänkasvun alaraja on jäänyt 1,40 m sen alapuolelle. Säännöstelyn alaraja on sen sijaan 1,51 m alempi kuin alin havaittu luonnontilainen vedenkorkeus. Keskimääräistä vedenkorkeutta säännöstely on nostanut 0,63 m. Kevättalvella vedenpinta laskee alarajan tuntumaan, minkä jälkeen se nousee entisen tulvahuipun tasolle ja pysyy suunnilleen tällä korkeudella koko kesäajan.

Raivaamatta jätetyt kannot samoin kuin monin paikoin esiintyvät rantavyörymät antavat leimansa myös Kiantajärven maisemaan. Turvetta on noussut pintaan lähinnä suolahdissa, joskin vähäisemmin kuin Vuokkijärvellä.

2.3 ONTOJÄRVI

Ontojärvi sijaitsee Kuhmon kaupungin alueella, Järven pinta-ala säännöstelyn ylärajalla on 114,8 km² ja rantaviivan pituus noin 334 km.

Suurin sallittu säännöstelyväli on Ontojärvessä 4,40 m. Yläraja noudattaa suurinta havaittua luonnontilaisen kauden tulvahuippua, ja alaraja on määrätty tasoon, joka on 1,38 m luonnontilaisen aliveden alapuolella. Keski-vedenkorkeus on säännöstelyn vuoksi 0,43 m aikaisempaa ylempänä. Vuoden alin vedenkorkeus saavutetaan huhtitoukokuussa kuten Vuokki- ja Kiantajärvelläkin. Ylimmillään vedenpinta on kesällä, mistä se syksyä kohti laskee vähitellen.

Järven vedenkorkeusvaihtelun muuttumisen seurauksista mainittakoon mm. rantojen vyöryminen. Kannot eivät enää ole siinä määrin ongelma kuin säännöstelyn alkuaikoina, sillä Oulujoki Oy raivasi niistä huomattavan osan pois 70-luvulla. Kantoja on kuitenkin yhä järven rannoilla paikoin runsaastikin, ja myös irtonaiset oksat, juuret ja muut puun kappaleet häiritsevät paikoitellen rannan ulkonäköä.

3 SUORITETTUJA KUNNOSTUSTOIMENPITEITÄ

3.1 KANTOJEN RAIVAUS

Kantojen raivausta on suoritettu Oulujoen vesistöalueen järvillä Oulujoki Oy:n ja Kainuun vesi- ja ympäristöpiirin toimesta. Oulujoki Oy on suorittanut kantojen poistoa kuivatyönä keväisin. Vesi- ja ympäristöpiiri on suorittanut kantojen poistoa ponttoonikalustolla.

Kuivatyöraivaukseen on käytettävissä vuosittain hyvin lyhyt aika. Usein vain muutamia viikkoja. Raivauksessa

käytetään toimintayksikköä, johon kuuluvat hydraulinen, tela-alustainen kaivukone ja 2 - 4 metsätraktoria. Kaivukoneen tehtävänä on kantojen irroitus ja metsätraktoreiden kantojen kuljetus läjitysalueelle. Kantojen raivauksesta on tehty työntutkimus, jonka tulokset ovat seuraavanlaisia.

Kaivukoneen työvuoro- ja menetelmäkapasiteetti kantojen irrotustyössä Vuokki- ja Kiantajärven koealueilla.

Koealue	Työvuorokapasiteetti K3		Menetelmäkapasiteetti K2	
	kantaa/h	ha/h	kantaa/h	ha/h
Vuokkijärvi	113	0,310	137	0,377
Kiantajärvi	189	0,200	231	0,244
Keskimäärin	142	0,267	173	0,326

Metsätraktoreiden määrä vaihteli päivittäin kahdesta neljään. Kaikkien metsätraktoreiden molemmilta koealueilta yhteenlaskettu työvuoroaika T 3 oli 135,9 h. Näinollen yhden metsätraktorin keskimääräinen työvuorokapasiteetti K 3 oli 46 kantaa/h ja 0,086 ha/h. Seuraavaan taulukkoon on laskettu yhden metsätraktorin keskimääräinen työvuorokapasiteetti molemmilla koealueilla erikseen sekä keskiarvona.

Yhden metsätraktorin keskimääräinen työvuorokapasiteetti kantojen kuljetuksessa Vuokki- ja Kiantajärven koealueilla.

Koealue	Työvuorokapasiteetti K3	
	kantaa/h	ha/h
Vuokkijärvi	46	0,126
Kiantajärvi	46	0,048
Keskimäärin	46	0,086

Yhden metsätraktorin kuljetuskapasiteetti oli noin kolmannuksen kaivukoneen irrotuskapasiteetista, minkä perusteella sopivin toimintayksikkö on 2 - 4 metsätraktoria yhtä kaivukonetta kohti.

Kantojen raivausta ponttoonien päällä olevalla nosturilla on tehty vuodesta 1984 lähtien. Ponttooni on varustettu pohjatunkeilla paikallapysymisen varmistamiseksi. Yksikkö liikkuu oman potkurin avulla. Raivaustyöhön kuuluivat kantokuorman tekeminen, siirtyminen rantaan, kuorman purkaminen sekä paluu raivausalueelle. Tämä raivaustapa on käyttökelpoisin vesisyvytydellä 0,5 - 1,5 m. Tällöin kannot löytyvät helposti eikä veden mataluus estä yksikön kulkua.

Ponttooninosturin työvuorokapasiteetti K 3 on noin 35 kantoa/h.

Kantokasat on hävitetty polttamalla.

3.2 KALASTUSPAIKKOJEN PUHDISTUS

Kalastuspaikkoja on puhdistettu irtonaisista risuista ja oksista polyesternarusta ja kettingistä tehdyllä verkolla. Verkkoa vedettiin kahdella hinaajalla ja verkkoon tarttunut puuaines saatiin poistetuksi. Tämä puhdistustapa on käyttökelpoisiin silloin kun pohja on vähäkivinen ja jokseenkin tasainen.

3.3 EROOSIORANTOJEN SUOJAUS

Monin paikoin Vuokki-, Kianta- ja Ontojärven rannoissa on säännöstely aiheuttanut eroosiota, joka on erityisen runsasta ja näkyvää lajittuneissa harjurannoissa. Oulujoki Oy on lupaehtojen mukaisesti vahvistanut vyöryviä rantatörmiiä, ellei asiasta ole sovittu rahallisesti maanomistajien kanssa. Suojauksia on rakennettu Kianta- ja Ontojärvelle. Vuokkijärvelle niitä sen sijaan ei ole tehty.

Suojaukset ovat luonnonmateriaaleista tehtyjä kiviheitokkeita tai soraverhouksia. Suodatinkankaan tai -kerroksen käyttöä suojausten alla ei ole katsottu tarpeelliseksi. Materiaalin valinnan ovat pitkälti määränneet kustannuseikat, jolloin kuljetusetäisyys on ollut ratkaiseva tekijä.

Rakentaminen on suoritettu kahdessa vaiheessa. Materiaali on kuljetettu suojattavaan kohteeseen talvella jäätä pitkin, keväällä jään sulamisen jälkeen suojaus on muotoiltu sopivaan kaltevuuteen.

4 K U S T A N N U K S E T

Oulujoen vesistöalueella on vesi- ja ympäristöhallitus käyttänyt säännöstelyjen järvien kunnostukseen noin 3,1 milj. markkaa. Laadittujen kunnostussuunnitelmien ja -ohjelmien toteuttamiseen tarvitaan valtion rahoitusta noin 6 milj. markkaa. Lisäksi järvien kunnostuksia toteuttaa myös Oulujoki Oy.

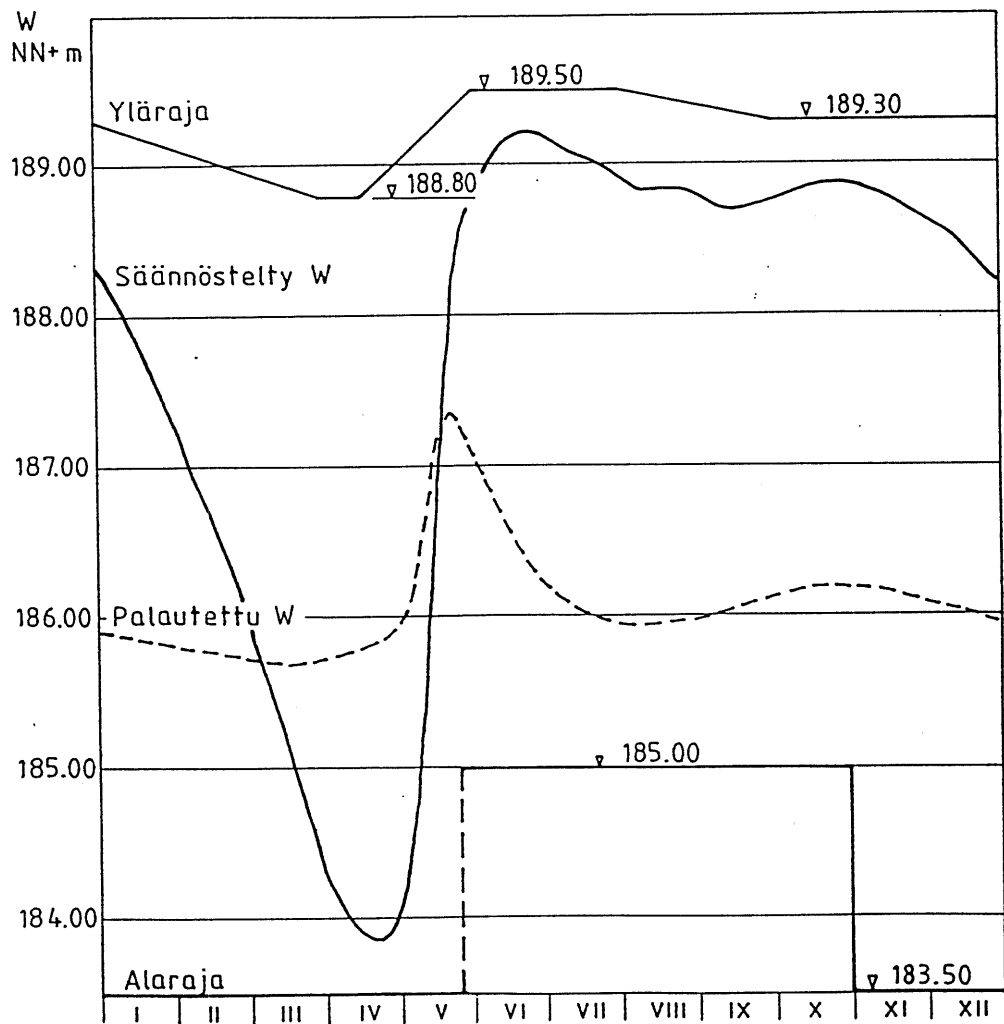
5 T O I M E N P I T E I D E N V A I K U T U K S E T

Edellä esitetyt toimenpiteet vaikuttavat vain osaan säännöstelyn haitallisista seurauksista. Esimerkiksi kalastuksen osalta voidaan tällä tavoin vähentää sen teknisiä esteitä, kun taas itse kalaston elvyttäminen edellyttää muunlaisia toimenpiteitä. Vesimaisemaa ja veneliikenteen turvallisuutta kantojen raivaus parantaa huomattavissa määrin.

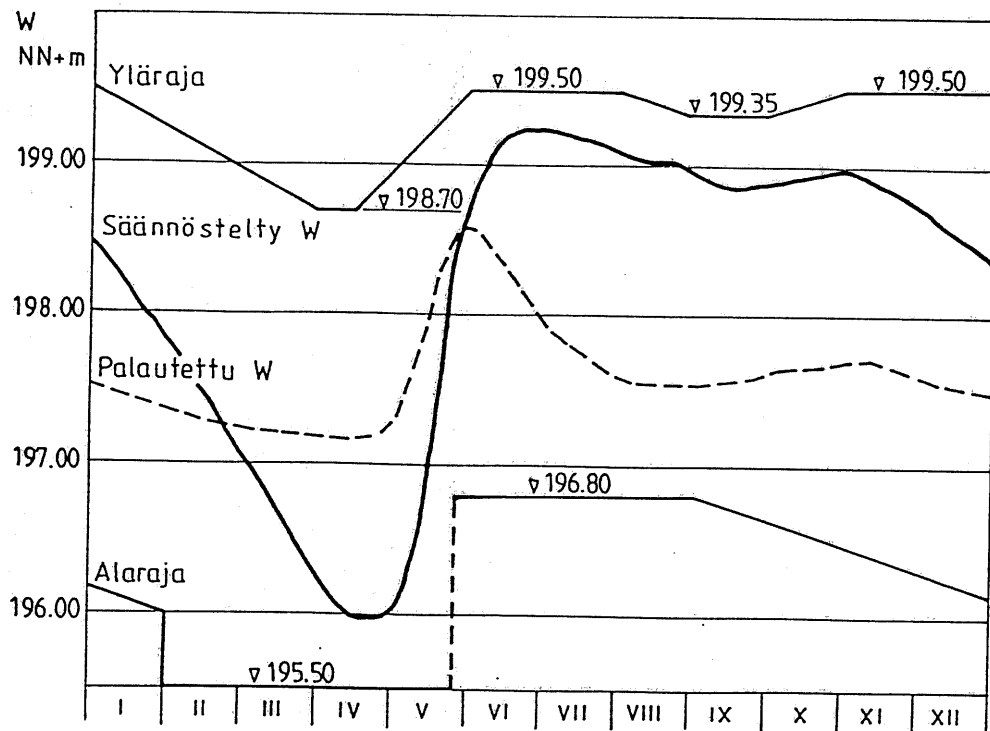
Tässä esitelmässä on käytetty lähteenä:

1. Kainuun vesi- ja ympäristöpiirin laatimia suunnitelmia
2. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarjan julkaisua nro 46 "Tekniset kunnostustoimenpiteet vesistösäännöstelyn aiheuttamien haittojen vähentämiseksi". Matti Heikkinen.

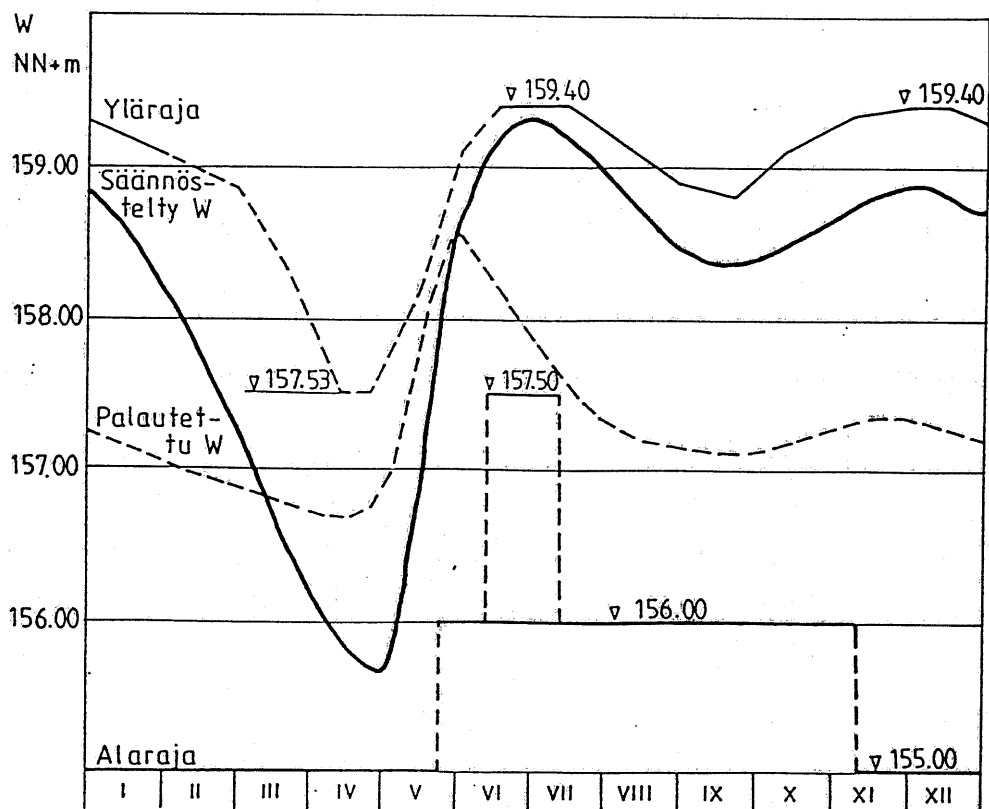
LIITTEET Vuokkijärven säännöstelyrajat ja vedenkorkeudet
Kiantajärven säännöstelyrajat ja vedenkorkeudet
Ontojärven säännöstelyrajat ja vedenkorkeudet



Vuokkijärven keskimääräinen vedenkorkeusvaihtelu säännösteltynä ja palautuslaskelmien mukaisena. Havaintojakso v. 1966-75.



Kiantajärven keskimääräinen vedenkorkeusvaihtelu säännösteltynä ja palautuslaskelmien mukaisena. Havaintojakso v. 1966-75.



Ontojärven keskimääräinen vedenkorkeusvaihtelu säännösteltynä ja palautuslaskelmien mukaisena. Havaintojakso v. 1966-75.

Matti Tikkanen

VESISTÖJEN KUNNOSTUS- JA TUTKIMUSTARPEISTA

1 JOHDANTO

Suolijärvien säännöstely/Jumiskon voimalaitos

Ylä- ja Alasuolijärvet yhdessä Sallan Isojärven kanssa käsittävät noin 10 000 ha:n säännöstelyaltaan Posion kunnassa. Putouskorkeutta Kemijärveen on lähes 100 m Jumiskojokea. Vedet siirrettiin tunneliin, minne rakennettiin huippuvoimalaitos 1953. Jumiskojoki kuivui. Isojärven vedet pumpataan noin 2 kertaa vuodessa 17 m ylös Alasuolijärveen. Systeemi on nerokas ja erittäin hyvin toimiva. Vuotuinen teho on noin 90 - 100 milj. kWh eli noin 1/4 Isohaaran tehosta ja kun se on huippuvoimaa, on laitos hyvin kannattava.

Suolijärvien säännöstely on ensimmäinen suurempi säännöstely. Rakennettaessa ei osattu arvioida vaikutuksia kalakantoihin, rantoihin, kalastamiseen, laskujoen kuivumiseen, kalojen alaslaskeutumiseen, kaivoihin jne.

Allekirjoittanut on joutunut 1960-luvun alusta lähtien avustamaan asukkaita, kalastus- ja jakokuntien oikeuden hoitamisessa sihteerinä ja erilaisissa nokkamiestehtävissä.

2 RANNAN ASUJIEEN KÄSITYKSET

Järven säännöstelyssä asukkaat näkevät yleensä vain epäedullisia seikkoja: vesipinnan suuren vaihtelun, kulkuhankaluudet, kalakantojen heikkenemistä, pyynnin vaikeutumisen, kannokkoiset rannat, vyörymät, rajapyykkien joutumisen veteen, talousvesihankaluudet, jokiuomien kuivumisen, kalan häipymisen juoksutuksen mukana alas, ehkä muutakin.

Säännöstelyn yhteiskunnallisia merkityksiä harvoin huomataan: vesivoima on erittäin tärkeä kulutushuippujen tasaamiseksi, säännöstely tuo kuntiin verotuloja, antaa työtäkin.

Edullisena seikkana voitaneen pitää: tulvista päästään eroon, veden pinnan nouseminen ja laskeminen on suhteellisen vakaasti ennustettavissa, kalakantojen hoito on velvoitteiden seurauksena vakiintunutta ja määrätietoista, kun ne toimenpidevelvoitteina on määrätty säännöstelijälle. Tuloksissa on hyvin paljon tutkittavaa, selvitettävää, myönteistä niiden seurauksena on toki aikaansaadut kalakannat.

3 SÄÄNNÖSTELYVEDEN KUNNOSTUS - JA TUTKIMUSTARPEISTA

Pohtiessamme otsikkoasiaa, miten tästä eteenpäin, lienee tarpeen tutkia, selvittää ja ryhtyä korjauksiin, toimenpiteisiin.

3.1 KALATALOUDELLISET SELVITYKSET JA TOIMENPITEET

Suolijärvien - Isojärven kaltaisissa säännöstelyjärvis-
sä on huolimatta suurista hoitovelvoitteista mittavia biologisia ja käytännön ongelmia.

Siika: Varmaa tietoa, mikä on oikea siikakanta, ei ole. Näyttää siltä, että pohjasiiian ja planktonsiian istuttaminen yhdessä on sopivaa. Pohjasiiialla ravinnon suurimittaisen tuhoutumisen seurauksena on kasvamisen vaikeuksia - pieneksi jää - kasvu on hidasta, nälkää nähdään - tautejakin on. Planktonsiika kenties vie ravinteita muikulta. Peled ei ollenkaan käy, se tulee pyydetyksi jo pienenä johtuen samankaltaisista liikkeistä kuin muikulla on.

Edellä kuvatun ravinto-ongelman lisäksi on todennäköistä, että laajamittaisen siikaistutuksen seurauksena siika syö paljon muikun vastakuoriutunutta poikasta vähentäen jopa hyvinkin paljon muikkua, jonka viides peräkkäinen katokesä näyttää olevan edessä. Mahanäytteet silmämääräisesti katsottuina ovat tähän päätelmäämme johtaneet.

Tutkimus: Kuvatun ravinto-lajisuhdeongelman selvittäminen on nopeasti ja mittavastikin saatava välittömästi käyntiin.

Muikun suurempimuotoinen siirtoistutus näyttäisi olevan velvoitteen eräs soveltamismahdollisuus ja myös tutkittava kohde. Muikkuhan on ylivoimaisesti tärkein pyyntikalat Suolijärvien kaltaisessa järvessä.

Taimen: Huomattavasta - 27 000 kpl/v - taimenistutuksesta huolimatta saalis on vähäinen. Kun muikku puuttuu, lienee ravinnon vähäisyys yhtenä syynä. Alaslaskeutumista esiintyy.

Tutkimus: Taimenen koon suurentaminen istutuksissa, ravinnonsaantimahdollisuudet, viivästetty istutus eli säilyttäminen verkkoaltaassa istutuskesän ja ruokkiminen tulee laajamuotoisempana ja aukottomasti selvittää.

Kevätkutuiset kalat: Suolijärvissä - Isojärvessä hauki ja ahven pyyntikalana ovat todella vähäiset, kun ne luonnontilassa esiintyivät runsaina ja kookkaina ja pyyntiin tulivat.

Tutkimus: Tutkimuksin pitää selvittää, miksi näin on, mitkä ovat keinot koon ja määränkin lisäämiseen.

Alaslaskeutuminen: Kala laskeutuu veden mukana alas, aina tunneleihin Kemijärveen. Esteaitoja on rakennettu ja tulossa. Havasaita on toimiva ja halpa. Säännöstelijäyhtiö on osallistunut rakentamiseen, ylläpitoon ja tutkimukseen.

Tutkimus: Kun kalaa menee alas, ylöstulon mahdollisuutta ei ole, se osin tuhoutuu, ja kun tämä nivoutuu velvoitteen toteuttamiseen, sen tulokseen ja tehoon, on tutkimuksin selvitettävä alaslaskeutumisen määrä ja merkitys sekä keinot estämiseksi.

Velvoite ja velvoitetarkkailu: Vesioikeus on velvoitteen määrännyt. Sitä toteutetaan. Seuranta - Suolijärvillä 30 000 mk/v - tehdään. Viranomaisen ja yhtiön kesken on velvoitetta mahdollista muuttaa arvon säilyessä.

Tutkimus: Yleisin rahoituksin on säännöstelijän ja kalastuskuntien yhteistyön avulla syytä tarkkailua tehdä ja kehittää, selvitettävä keinot muuttamisen tarpeesta.

Pyynti: Kalastus on vähäistä. Tehokkaammat pyyntikeinot ovat tulossa käyttöön: nuotat, isorysät. Paikkakunnan kalastajat ovat kasvamassa uuteen ajatteluun vesien hyödyntämisestä. Kalojen koostumus, liikkumistavat ovat muuttuneet.

Tutkimus: Ammattikalastajat oma-aloitteisesti kokeilevat uusia soveliaita pyyntivälineitä ja apulaitteita. Tutkimuksen tarvetta on eri pyydysten käyttömahdollisuuksista erilaisissa pyyntipaikoissa, eri vuodenaikoina kullekin kalalajille. Tässä yleinen rahoitus on tarpeen.

Raivaukset: Kertakaikkisesti korvattuja järviä, joissa säännöstelyvesi nostettiin 3 - 5 m pystymetsään, ovat vaikeasti kalastettavia.

Tutkimus: Tarvitaan muutama kymmen sileitä apajapaikkoja nuottaamiseen. Tulisi selvittää, mitkä raivattavat paikat ovat, se mm. toteutetaan työllisyysvaroin.

Kuivuneet jokiuomat: Suolijärvien - Isojärven säännöstelyssä noin 40 km Jumisko-Köykenöjokia kuivui. Näissä uomissa on mahdollista lisätä harri-nieriä-taimenkantoja rakentamalla pohjapatoja suvantojen alapäähän, harkita nousuteitä, samoin vedenjuoksutuksen lisäämistä. Lapin Kalastuspiiri lienee näistä pohjapatojen rakentamista toteuttamassa, samoin istutustoimintaa.

Tutkimus: Jumiskojojokiuoma on noin 40 km pitkä jokilaakso, jossa vallitsee lehtomainen kasvillisuus, luonto on täysin erämaata, kilometrien pituiset niityt ja suvannot ovat tyypillisiä, kymmenien metrien putouksia on, uittolaitteet muistona käytöstä. On paikallaan selvittää, mitä mahdollisuuksia olisi lisätä joen kalataloudellista käyttöä ehkä retkeilyä ajatellen.

3.2 SÄÄNNÖSTELYN ALARAJAN TARKASTELU

Alasuolijärvässä ja Isojärvässä säännöstelyväli on 3 m, Yläsuolijärvässä 2,40 m. Kun järvissä säännöllisesti kevättalvella on 1 m paksu jää, on jään pohjaeläimiä tuhoava vaikutus 4 m. Siian ja muikun mäti tuhoutuu, lisääntyminen estyy. Isojärvässä säännöstely toteutuu 2 kertaa vuodessa. Muikun tuho on täydellinen.

Tutkimus: Kun tulevaisuudessa säännöstelyluvut lienevät määräaikaaisia, tieto ja kokemus säännöstelystä lisääntyy, on välttämätöntä selvityksin ja laskelmin hakea oikea säännöstelyväli sekä kunakin vuonna ennakoida alaraja vesitilanteesta riippuen.

3.3 PÄÄALTAAN SIVUVESIEN SÄÄNNÖSTELYMAHDOLLISUUS

Kun säätövoiman merkitys on lisääntymässä, voitaneen tutkia mahdollisuuksia harjoittaa pääaltaan sivuvesissä lievää, esim. 1 - 1,5 m säännöstelyä. Tällä vesivarasto lisääntyisi, kalanhoitovelvoitteella voitaisiin kalakannat pitää kunnossa. Varsinkin asumattomat sivuvedet saattaisivat tulla kysymykseen.

3.4 JÄRVISÄÄNNÖSTELYYN PERUSTUVA KALANKASVATUS

Allekirjoittaneella on 7 vuoden ajan ollut tämänkaltaista kalankasvatusta laitoksen nykyisen luvan ollessa 100 tn kalaa lisäkasvuna mitattuna. Menetelmän etuina voidaan mainita: virtaamat ovat suuret, laitoksemme ohi nykyään keskimäärin 250 milj. m³/v. Vesimassa vaihtuu kokonaan vuosittain, on mahdollista käyttää suuria ja syviä maa-altaita, jolloin rehukerroin on erittäin hyvä, laitoksellamme ehkä alle yhden. Talvisäilytys verkkoaltaissa mahdollistaa kalan ottamisen myyntiin sulista altaista, poikaskalan ylläpitoruokinnan talven aikana sekä sen, että teuraskalaa on mahdollista säilyttää pitkälle kevättalveen, jolloin hinta on parempi. Kevättalvella vesi lämpiää huhtikuussa jopa 2 - 3 asteeseen mahdollistaen ruokkimisen, ja näin kasvukausi jatkuu.

Tutkimus: Säännöstelyvedessä on kaloilla suuri puute ruoasta. Siika on laihaa, tauteja seuraa. Siika ja muikku kokoontuvat laitoksen läheisyyteen. Parhaat

siikasaaliit 200 m laitoksestamme saattavat olla 80 kg siikaa 10 verkolla päivässä.

Ravinnekuormasta ei ole ollut ympäristölle sanottavaa haittaa. Lapin vesipiirin toimesta on laitoksellamme menty laaja-alaiseen tarkkailuun, jossa havaintopisteet ovat sijoitetut joka puolelle laajahkollekin alueelle. Pidämme sitä onnistuneena.

Ympäristötutkimuksen avulla tulisi selvittää, miten kasvatus vaikuttaa järven ekologiaan, kalastoon, kalastukseen kulloisillakin määrillä, virtauksilla ja lämpöoloissa. Vaikutukset eivät suinkaan ole yksinomaan kielteisiä.

Päätelmät

Mielestäni säännöstelyjärvien biologiassa, ekologiassa on erittäin paljon tutkittavaa ja selvitettävää, syitä ja seurauksia. Tähän saakka tutkimus on kyllä arvokasta työtä tehnyt, tuloksia on.

Kun tietoa kertyy, tästä on seurauksena erilaisten taloudellisten intressien vertailu. Me säännöstelyvesien rannan asukkaat kaipaamme usein luettavaksemme ja keskustelumme tutkimusten ja selvitysten tuloksia-yllättävän paljon kiinnostusta siis keskuudessamme on. Älköön siis tutkimus piiloutuko kammioihinsa: tulkaa keskuuteemme kokouksiin, palavereihin. Olette siellä arvostettuja vieraitamme.

Vesivoiman arvo on yhä nousussa. Sen tuotto on käynyt yhä suuremmaksi. Rahaa siis liikkuu. Säännöstelijällä itsellään lienee yhä suurempi intressi sijoittaa ja panostaa selvityksiin, tutkimuksiin, ei varmaankaan yksinomaan imagonsa vuoksi.

Kaikkea ei säännöstelijältä toki voida vaatia ja sille säilyttää. Yhteiskunnan, yliopistojen, tutkimuslaitosten tulee tulla vastaan, sijoittaa maakuntaan ja sijoittua, niin kuin onkin tapahtunut. Niiden on varmasti syytä tehdä aloitteita ideoista.

Vesien omistajat tuntevat suurta kiinnostusta olla mukana tutkimuksessa. Tulokset antavat heille pohjaa hoitaa omaisuuttaan, tehdä nykyajan ja lainsäädännön edellyttämiä päätöksiä oikeasuuntaisesti. Voitte olla vakuuttuneita mielenkiinnostamme ja halustamme avustaa teitä, tutkimusta, ottaa osaa käytännön työhön. Yhteistyökykyä siis löytyy.

Risto Palomäki
Esa Koskenniemi

OVATKO RANTA-ALUEET VIHDOINKIN HALLINNASSA?

1. Viime vuosina on hahmoteltu järvien ranta-alueen luokittelua. On tutkittu mahdollisuuksia mitata yksinkertaisesti järvien rantatyyppien (habitaattien) tunnuspiirteitä. Rantatyyppit eroavat toisistaan erityisesti seuraavissa ominaisuuksissaan:

- alttius tuulille ja aallokolle
- ranta-alueen maaperän laatu
- ranta-alueen pohjan orgaanisen ja minerogeenisen ainesten suhde

Näistä tekijöistä johtuen rantatyypeillä havaituissa eliöstön lajikoostumuksessa, yksilömäärissä ja biomassoissa on suuria eroja. Rantatyyppien selkeätä ja helpoa mittaustapaa todennäköisesti ei ole olemassa. Tästä syystä esitämmekin, että ranta-alueiden eri tyyppien pinta-alaosuudet tulisi mitata osittain subjektiivisesti. Tähän paras ja helpoin tapa olisi ilmakuvauksen kuvien pohjalta lasketut pinta-alat. Ilmakuvien etuihin kuuluu lisäksi, että kuvista saadaan tietoa sekä rannan suuntaisesta (horisontaalisesta) että syvyyssuuntaisesta (vertikaalisesta, vyöhykkeisestä) rantatyyppien vaihtelusta. Jos kuvista saatu informaatio on riittämätön, voidaan sitä täydentää kenttätöillä.

2. Rantatyyppien eri ominaisuuksien (habitaatin syntyyn vaikuttavat tekijät) selvittäminen on kuitenkin tärkeää erityisesti siitä syystä, että vedenpinnan säännöstelyn habitaatteja muuttavia pitkäaikaisia vaikutuksia ei kyetä selvittämään ilman habitaattien syntyyn liittyvää tietoutta.

Säännöstellyissä vesissä erityisesti habitaattien "karuin" ääripää korostuu. Habitaattien ääripäät, kivikoranta ja kasvillisuusranta, ovat kuitenkin eliöstön kannalta ennustettavimpia kun taas "välittävät" tyyppit ovat heikommin ennustettavissa. Tähän habitaatin ennustettavuuteen ihmisellä on mahdollisuus vaikuttaa (habitaatin manipulointi).

3. Ranta-alueiden pohjaeläintutkimuksen huomattavana ongelmana on eri habitaattien pohjan fyysinen monimuotoisuus. Tästä syystä eri habitaateilla joudutaan käyttämään eri näytteenottomenetelmiä. Tämä on johtanut suuresti eri habitaateilla tehtyjen tutkimusten vertailun perin hankalaksi tiettyjen kysymysten kohdalla. Ranta-alueiden pohjaeläintutkimuksen suurena haasteena onkin eri metodien vertailukelpoiseksi saattaminen.

Pyrkimyksenä saataisi tulla kysymykseen, että yhdellä "yleismetodilla" (näytteenottomenetelmällä) saataisiin vastaukset mahdollisimman moniin kysymyksiin mieluummin kuin, että jokaiseen kysymykseen otettaisiin näytteet eri metodeilla.

4. Ranta-alueita koskevien kysymysten selvittäminen tuntuu tällä hetkellä huomattavasti helpommalta, kun taustatutkimuksia ranta-alueista on tehty useasta eri näkökulmasta. Tällä hetkellä kuhunkin uuteen kysymykseen (kalojen ravintovarot, säännöstelyn vaikutukset pohjaeläimistöön, kasvillisuuteen, järven rehevöitymiskehitys, myrkyt, humus jne) on helpompi tehdä tutkimussuunnitelma ilman, että tarvitsisi tutkia taustakysymyksiä.

Ari Huusko

SÄÄNNÖSTELTYJEN VESISTÖJEN KALANTUTKIMUSTARPEISTA

Perinteisesti kalavesiin, kalastukseen ja kalansaaliiseen liittyvät asiat ainakin Suomessa sisältävät voimakkaita tunnelatauksia. Kalantutkimuskin voi olla kiistelyn aihe puhumattakaan kalavesien käytöstä tai vesirakentamisesta. Kalaveden omistajien ja myös päättäjien tiedon tarve erilaisten toimenpiteiden vaikutuksesta on suuri. Kalantutkijoilta vaaditaan yleensä pikaisia vastauksia vesialueilla tehtävistä toimenpiteistä mahdollisesti aiheutuvien ympäristömuutosten ongelmiin ja selkeitä ja pitäviä ohjeita muutoksien kompensoimiseksi. Toisaalta, jotta kalantutkija voisi ennusteensa antaa, tulee hänellä olla vankat perustiedot aihepiiriin vaikuttavista tekijöistä. Jo eri kalalajien perusbiologian tunteminen on oleellisen tärkeää, sillä biologiasta riippuu, onko vesissämme kalastettavaa.

Nyky-Suomessa kalantutkija joutuu melko pitkälle tekemään vahinkoennusteen arvioperusteella, sillä, niin valitettavaa kuin se onkin, maastamme ei ole riittävästi sellaisia yksityiskohtaisia kalabiologisia tutkimustuloksia, joiden avulla voitaisiin vesistöhankkeiden vaikutuksia kalakantoihin hyvällä luotettavuudella arvioida (Lehtonen 1986). Ongelma on sama myös muualla maailmalla (Rosenberg ym. 1981, Hecky ym. 1984). Useimmiten vahingot aliarvioidaan, koska taustalla vaikuttavasta systeemistä on vain niukasti tietoja käytettävissä, ja toisaalta kalastuksella voidaan paljolti ohjata kalakantojen kehitystä. Erityisesti kalojen lisääntymistä, poikasia, kasvua ja ravinnon käyttöä koskevia tutkimuksia on vähän. Kalojen populaatiodynamiikan tunteminen on välttämätöntä, jotta kalastusta voidaan järkevästi ohjata ja ympäristömuutosten haittoja kompensoida. "Jos ei tiedetä, miten vuosiluokkien koko vaihtelee, mitkä tekijät siihen vaikuttavat, miten kalastus on kehittynyt tai miten kalastus vaikuttaa kalakantoihin, ei kannata kuvitella, että voitaisiin ennustaa, kuinka ihmisen aiheuttama ympäristömuutos vaikuttaa kalakantoihin ja kalastukseen" (Hilden ja Ketunen 1985). Säännösteltyjen vesien kalantutkimustarpeet ovat pitkälle samoja kuin rakentamattomien vesienkin kohdalla.

Näillä vesitutkimuspäivillä on esitelty muutamia tutkimusotteita, joilla pyritään valottamaan säännöstelyn vaikutuksia kalakantoihin. Esitetyt tutkimukset ovat mielenkiintoisia myös siinä mielessä, että niissä on pyritty ottamaan huomioon sekä kalojen että ympäristömuutosten vaikutukset mm. kalojen ravintoeläimiin ja sitä kautta koko vesiekosysteemiin, josta vaikutukset voivat heijastua takaisin kalakantoihin. Kalayhteisön eri kalalajien ja eri trofiatasojen välisiä ja sisäisiä vuorovaikutussuhteita ei ole maassamme juurikaan tutkittu. Kalayhteisön eri lajien populaatiodynamiikan ja eri trofiatasojen samanaikainen tarkastelu johtanee hedelmällisiin tuloksiin säännöstelyn kalakan-
noille aiheuttamien muutosten perusteiden tutkimuksissa.

Jotta kalantutkimuksen tulokset olisivat luotettavia ja tulosten käyttöarvo olisi mahdollisimman hyvä, tulee tutkimuksen olla menetelmällisesti oikeaa ja perustuttava laajaan ja vankkaan teoriaan. Pitkällä tähtäyksellä käytännön ratkaisujen tulee pohjautua vaikutustapojen perusteelliseen tuntemiseen. Tässä suhteessa monivuotiset kalabiologiset tutkimukset ovat välttämättömiä. Rajallisten resurssien vallitessa yhteistyö eri tutkimuslaitosten välillä johtanee parhaiten menestykseen.

Säännösteltyjen vesistöjen arvioimisessa tarvitaan lisätietoja ainakin seuraavilta kalabiologian osa-alueilta:

Tärkeimpien kalalajien populaatiodynamiikan perustutkimukset, erityisesti nuoruusvaiheiden biologiaa ja ravinnon käyttöä koskevat selvitykset.

Eri kalalajien ja saman lajin vuosiluokien välisten vuorovaikutussuhteiden ja kalayhteisön rakenteen tutkimukset eri tyyppisissä järvissä.

Kalastuksen vaikutukset kalakantojen tuottoon.

Kalaistutusten tuloksellisuuteen vaikuttavat tekijät.

Seurantatutkimukset säännöstellyillä ja säännöstelemättömillä järvillä.

KIRJALLISUUS

- Hecky, R. E., Newbury, R. W., Bodaly, R. A., Patalas, K. & Rosenberg, D. M. 1984. Environmental impact prediction and assessment: The Southern Indian Lake experience. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 41, s. 720-732.
- Hilden, M. & Kettunen, J. 1985. Miksi populaatiodynamiikkaa velvoitetarkkailussa. Teoksessa: Honkasalo, L. & Kaatra, K. (toim.): Kalataloudellinen velvoitetarkkailu. Vesi- ja kalatalousalan ammattijärjestö VKA ry. Helsinki. s. 79-93.
- Lehtonen, H. 1986. Kalataloudellisten velvoitetarkkailujen ja velvoitetutkimusten taustasta Suomessa 1980-luvulla. Suomen kalastuslehti 93, s. 129-133.
- Rosenberg, D. M., Resh, V. M., Balling, S. S., Barnby, M. A., Collins, J. N., Durbin, D. V., Flynn, T. S., Hart, D. D., Lamberti, G. A., McElravy, E. R., Wood, J. R., Blank, T. E., Schultz, D. M., Marrin, D. L. & Price, D. G. 1981. Recent trends on environmental impact assessment. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 38, s. 591-624.

Esko A. Lind, Valto A. Peiponen & Kari Hanski

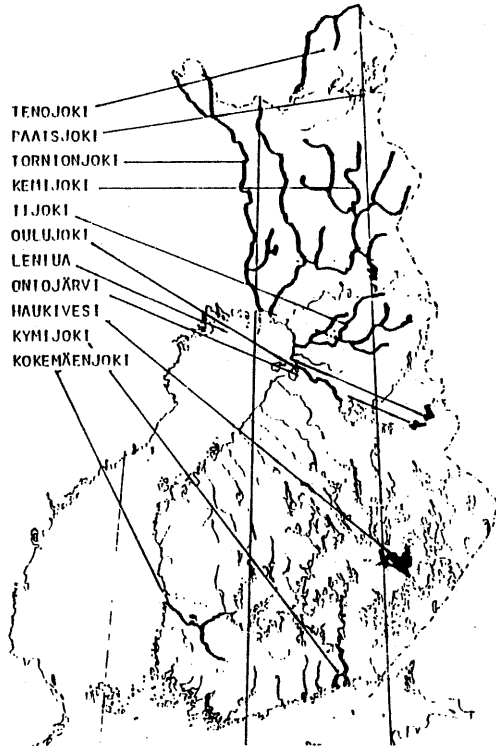
LOHIKALOJEN 11-VUOTINEN KANNANVAIHTELU, VEDEN LAATU JA VESIS- TÖJEN SÄÄNNÖSTELY

1. JOHDANTO

Muuan pohjoisten eläinten osoittama erityispiirre on joskus vahvakin kannanvaihtelu, josta periaatteesta syyskutuisten lohikalojen heimon lajit eivät näytä tekevän poikkeusta. Kannanvaihtelun selittämiseksi on esitetty useampia teorioita, jotka pohjautuvat yhtä hyvin biottisiin kuin abiottisiin, tai lajinsisäisiin ja lajienvälisiin tekijöihin (Hakala 1910, Järvi 1920, Huntsman 1937, Nordqvist 1944, Lindroth 1950, Svärdson 1955, Pulkkinen 1965, Nikolskii 1969, Lind & Peiponen 1985 a, Salojärvi, käsikirjoitus).

Muuan toinen erityispiirre on siinä, että syyskutuiset lohikalat vaativat hyvälaatuista vettä (esim. Lind 1979). Tämä koskee varsinkin muikkua (*Coregonus albula*) ja loh-
ta (*Salmo salar*), siika (*C. lavaretus*) ja taimen (*S. trutta*) eivät näytä olevan aivan yhtä herkkiä tässä suhteessa. Veden laadun vaihtelun on oletettu kuvastuvan kannanvaihteluna (Lind 1981, Piekkola & Lind 1981, Huuskonen 1981).

Tässä esityksessä tarkastellaan kysymystä periaatteella "Time and place", eli jos jokin ilmiö pätee alueellisesti, sen tulisi päteä myös ajallisesti. Erityistä huomiota kiinnitetään 11-vuotiseen kannanvaihteluun, tosin sivuuttamatta muitakaan malleja, ja sitä mahdollisesti sääteleviin ympäristötekijöihin. Lisäksi tarkastellaan kysymystä, poikkeavatko rakennetut ja säännöstellyt vesistöt luonnontilaisista.



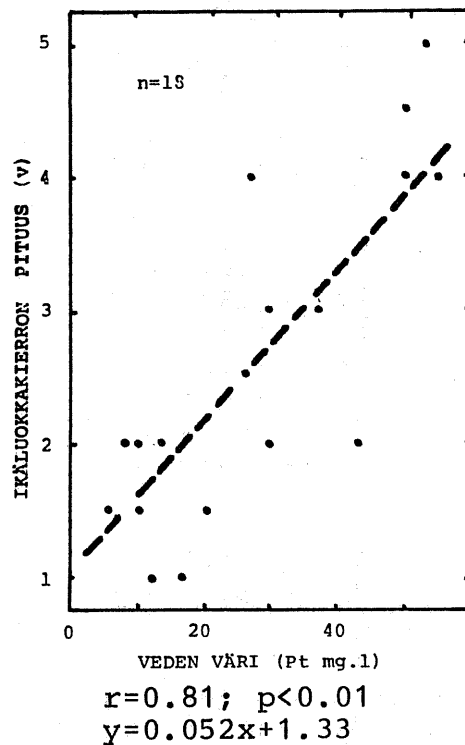
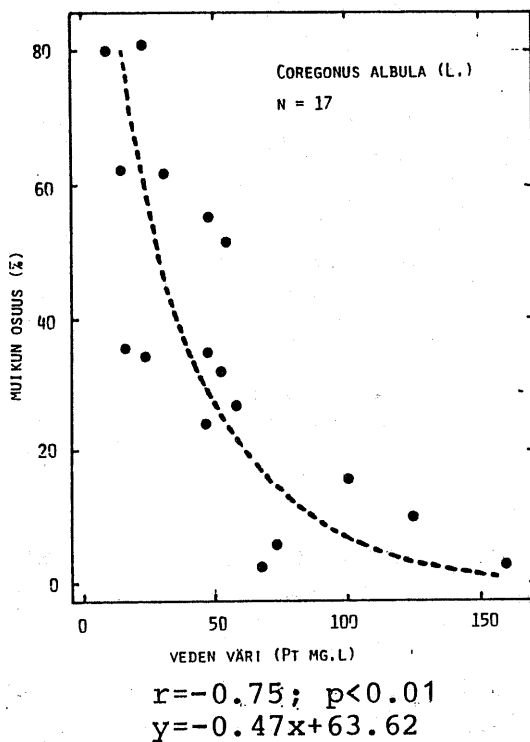
Kuva 1. Vesistöalueet, jotka mainitaan tekstissä ja joilta useimmilta on käytettävissä lohikaloja koskevaa materiaalia.

2. KALAKANTOJEN ALUEELLINEN VAIHTELU

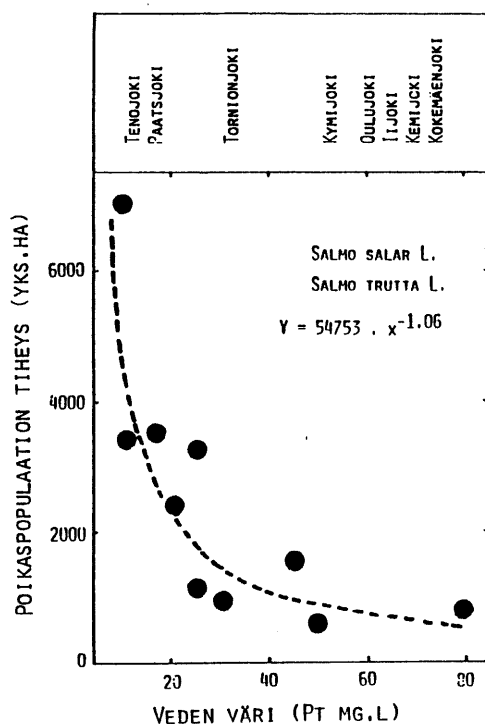
Vesistöt, joiden nimet on mainittu tässä esityksessä, ja joista useimmista on myös materiaalia käytettävissä, on esitetty kuvassa 1.

Muikun osuus järvien kala-yhteisöissä vähenee, saaliilla mitattuna, veden laadun heikentyessä (kuva 2). Osaltaan tämä johtuu lisääntymisestä, joka tuottaa hyvälaatuisessa vedessä vahvoja ikäluokkia usein, jopa vuosittain (kuva 2). Nämä alueet edustavat lajin optimipäristöjä, joissa kannanvaihtelua ei esiinny.

Vahvojen ikäluokkien syntymäfrekvenssi harvenee veden laadun heikentyessä johtaen tyypilliseen kannanvaihteluun. Ilmeisesti



Kuva 2. Vasemmalla muikun saalisosuuden riippuvuus veden väristä eräillä Suomen järvillä (Lind 1978, 1981), ja oikealla ikäluokkakierroksen riippuvuus veden väristä (Lind 1976 a b). Veden laatuparametrina olisi voitu käyttää muitakin tekijöitä.



Kuva 3. Lohen ja taimenen poikaspopulaation tiheyden riippuvuus veden laadusta, väriarvolla mitattuna. Nimetyistä joista havaintoja on vain Teno- ja Tornionjoelta (Lind 1980).

nämä vedet edustavat lajin "reuna-alueita" elinympäristön suhteen ja osoittavat lisääntymisriskien esiintymistä. Samalla edellinen antaa viitteen siitä, että kannanvaihtelu on paljolti kytkeytynyt vesistöalueen maaperään ja valumaan, jotka säätelevät veden laatua.

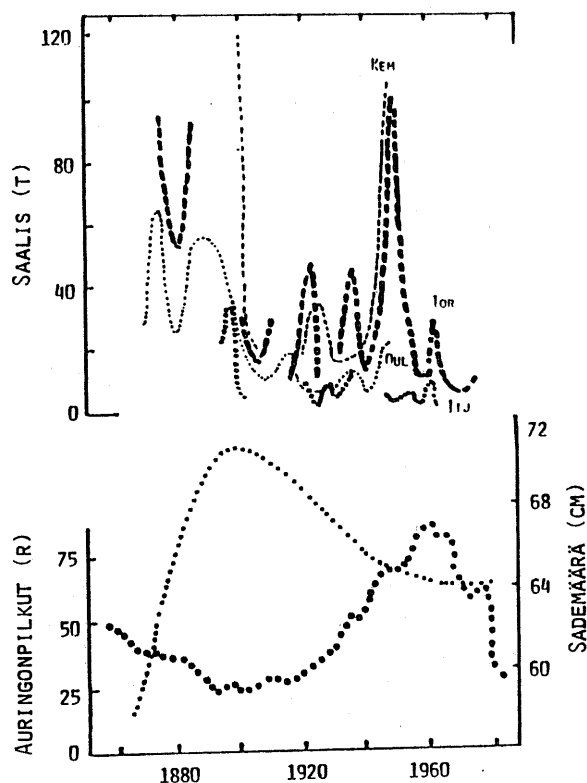
Lohen ja taimenen optimaaliset elinympäristöt vastavasti ovat hyvälaatuisissa vesissä, mitattuna poikaspopulaatioiden tiheydellä (kuva 3). Eräissä näissä joissa kannanvaihtelua ei voi huomata, tai se on suuresti epämääräinen. Kannanvaihtelu onkin luonteenomainen Itämereen laskeville humuspitoisille joille. Heikkolaatuisessa vedessä lohen ja taimenen, varsinkin ensiksi mainitun lisääntyminen ei onnistu, josta maassamme on tarjolla useita esimerkkejä. Itse asiassa monet joet ovat olleet lohijokia vain kannanvaihtelun huippuvuosina.

3. KALAKANTOJEN AJALLINEN VAIHTELU

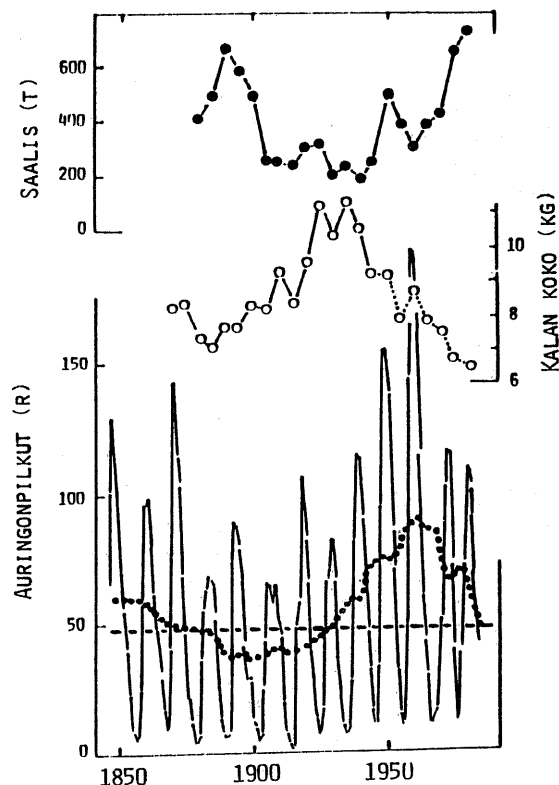
Eräät piirteet populaatioiden ajallisessa vaihtelussa ovat selviä, eräät toiset taas eivät. Seuraavassa kuvataan lyhyesti joitakin hallitsevia ominaisuuksia kannanvaihtelusta.

Selvää on, että joissakin veden laadultaan hyvissä ja vakaissa muikkujärvissä kannanvaihtelua ei juuri ole (ks. edellä), tai katokausia esiintyy harvoin, kuten Puruvedellä. Itse asiassa eräissä Kuusamon järvissä on vasta talvella 1987-1988 alettu huomata viitteitä kantojen heikkenemisestä talvesta 1971-1972 jatkuneella tutkimuskaudella. Vastaava on ollut tilanne monilla Pohjois-Norjan lohijoilla, kuten Tenojoella, jossa kannanvaihtelu ei ole ollut kovinkaan selvä.

Vastaavasti on selvää, että eräillä vesialueilla vahvat lohi- ja muikkuikäluokat ovat syntyneet auringon 11-vuotisen aktiivisuussyklin maksimeissa ja sademäärien



Kuva 5. Eräiden Suomen jokien lohisaaliin riippuvuus auringon aktiivisuudesta (isot pisteet) ja sademäärästä (pienet pisteet); kyseessä 30 vuoden liuku keskiarvo (Lind & Peiponen 1986).



FISH SIZE IN 1876-1945 - FINNISH CATCH

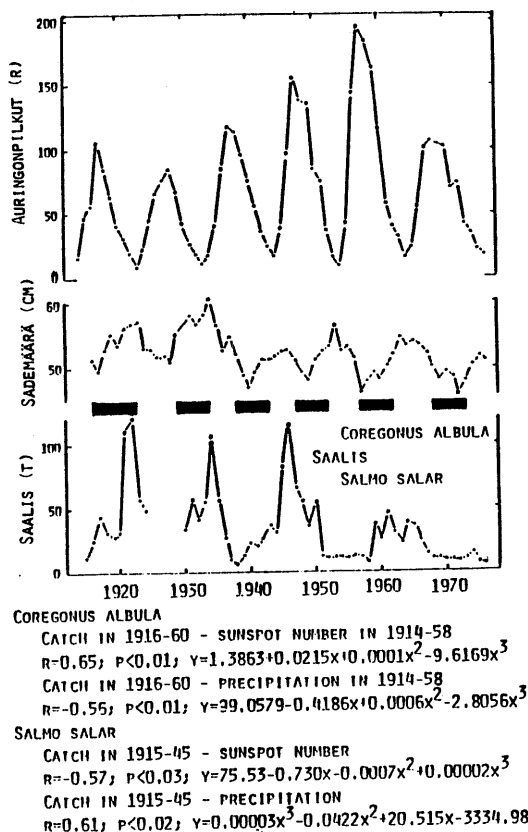
$$R = -0.67; P < 0.01$$

$$Y = 10.62101 + 0.00399x - 0.00004x^2 + 4.52360x^3$$

Kuva 6. Suomen lohisaaliin ja kalan yksilökoon riippuvuus auringon aktiivisuudesta (Lind & Peiponen 1986).

sfäärissä (Olson 1980, Pohtila 1980) että stratosfäärissä (Labitzke & van Loon 1987) korkeampi auringonpilkkujen maksimissa kuin minimissä, joka sama pätee meriveden lämpötilaan (Reid 1987). Voidaan ajatella, että korkea lämpötila johtaa syyskutuisten lajien myöhäisempään kutuun ja kuoriutumiseen, sekä sitä kautta vahvojen ikäluokkien syntyyn. Voidaan myös ajatella, että sama tekijä laukaisee paremmin vaelluskäyttäytymisen kuin päinvastainen.

Edelleen, ilmastollisista tekijöistä sademäärä noudattaa auringon aktiivisuutta, maksimi pilkkujakson minimissä (kuva 4). Sademäärän lisäys puolestaan lisää valumaa ja heikentää veden laatua (esim. Wartiovaara 1975). Vastaavaa syklisyyttä kuin sademäärä on havaittu myös veden laadun vaihtelussa. Paikoin on ollut riippuvuutta kalakantoihin, paikoin taas ei käytettävissä tavanomaisia veden laatuparametrejä.



Kuva 4. Tornionjoen lohi- ja Haukiveden muikkusaaliin (mustat kuviot) riippuvuus auringon aktiivisuudesta ja sademäärästä (Lind & Peiponen 1986).

minimeissä (kuva 4). Tämä merkitsee sitä, että muikkusaaliit ovat lisääntyneet lähes välittömästi, mutta lohisaaliit puolenkymmenen vuoden viiveellä, eli auringonpilkkujen minimissä ja sademäärien maksimissa. Myös Oulujoen vaellussiian saaliit korreloivat positiivisesti virtaamaan ja sademäärään (Lind & Kaukoranta 1974, Peiponen & Lind 1987), eli vahvat ikäluokat ovat syntyneet sademäärien minimeissä ja populaatioiden aallonpohjissa, vastaavalla tavalla kuin lohella.

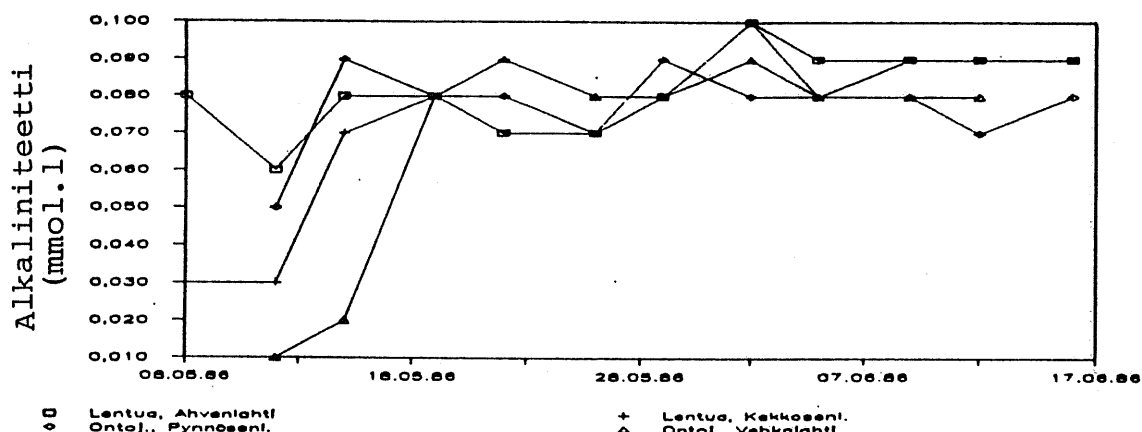
Edelleen, on olemassa viitteitä siitä, että Itämeren lohikannat, mitattuna jokikohtaisella ja valtiollisella saaliilla sekä kalan koolla ja kasvunopeudella, noudattavat auringon pitkäjaksoista aktiivisuusmallia (kuva 5 ja 6). Vastaavia piirteitä on ollut nähtävissä myös eräissä muikkupopulaatioissa (Lind & Peiponen 1985 a).

4. ERÄITÄ SELITYSTEORIOITA

Edelliset havainnot, joskin poikkeaviakin tapauksia on, osoittavat pitkäjaksoisen kannanvaihtelun liittyvän auringon aktiivisuuteen, varsinkin, kun vastaavaa on nähtävissä myös puiden kasvussa ja siementen muodostumisessa (Douglass 1919, 1928, Pohtila 1980), jopa siian kutuajoissa (Hartmann 1984). Vaikuttavat mekanismit eivät kuitenkaan ole yhtä selviä.

Yhtenä mahdollisuutena voidaan teoretisoida, että auringko lähettää erilaista ja erilaisia määriä säteilyä syklin eri vaiheissa, johon eliöt reagoivat positiivisesti tai negatiivisesti. Tätä koskevia havaintoja on tehty viime aikoina (Sky and Telescope, Ja. 1988, pp. 1011).

Muuan välillinen mahdollisuus on ilmastonmuutos, seurauksena auringon syklisyydestä. Lämpötila on sekä tropo-



Kuva 7. Veden alkaliniteetin kehittyminen luonnontilaisen Lentuan ja säännöstellyn Ontojärven laakeilla (Ahvenlahti ja Pynnösenniemi, valuma-alueet 10 ha) ja jyrkillä (Kekkonenlahti ja Vehkalahti, valuma-alue 100 ha) rannoilla keväällä 1986 (Alasaarela et al., käsikirjoitus).

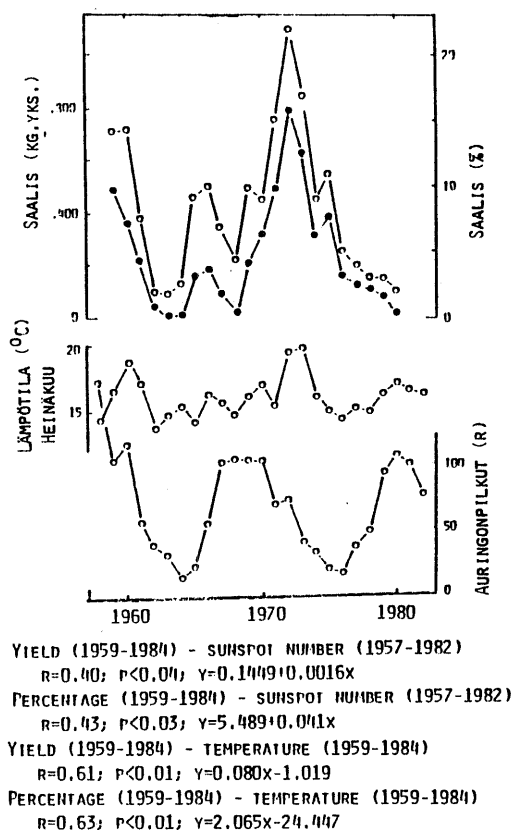
Sadeveden pH on Suomessa yleensä 4-5, eli lohikalojen esiintymisen alapuolella, ja lisäksi se on lähes puskuroimaton. Suurimmillaan sen vaikutus on keväällä lumen sulaessa, jolloin rantavesien alkaliniteetti voi laskea lähelle 0 (kuva 7). Tämä vaihe taas on syyskuu-isten lohikalojen kuoriutumisaika, joten ne joutuvat alttiiksi varsin suurille rasitteille. Kun sademäärä noudattaa auringon 11-vuotista syklisyyttä, voinee ilmiö osaltaan selittää kannanvaihtelua. Lisäksi on mahdollista, että myös kesäsateet vaikuttavat samalla tavalla; poikasethan asustavat matalalla sekä järvissä että joissa pitkälle kesään.

Ei sovi myöskään unohtaa suurilla maantieteellisillä leveyksillä havaittua jaksottaista typpilaskeumaa, joka noudattaa geomagnetismin vaihtelua, joka puolestaan noudattaa auringon syklisyyttä parin vuoden viiveellä (Parker & Zeller 1978). Typpi on yleinen minimitekijä sekä akvaattisissa että terrestrisissä ekosysteemeissä.

5. RAKENNETUT JA SÄÄNNÖSTELLYT VESISTÖT

On aiheellista esittää kysymys, mitä tekemistä kannanvaihtelulla on vesistöjen rakentamisen ja säännöstelyn kanssa, ja jos on, mikä on suunta, edistääkö se fluktuatiota vaiko ehkäisee.

Jälkimmäistä näkökohtaa voi ajatella rakennettujen jokien osalta, joissa luonnontilainen ja kannanvaihtelun alainen kalakanta kompensoidaan istutuksella. Tällöin on mahdollista tuottaa ja istuttaa poikasia tasamäärin aina vuotta kohti. Mutta tällöinkään ei voida välttyä



Kuva 8. Lohen istutuksen tuottavuuden riippuvuus auringon aktiivisuudesta ja kesän lämpötilasta mitattuna saaliilla (●) ja merkittynä tavattujen kalojen määrällä (○) (Lind & Peiponen 1985 b).

nöstelyn vaikutus voi olla erilainen eri alueilla, riippuen järven morfologiasta ja veden laadusta. Vielä, sadevesi sisältää hyödyllisten lisäksi kasvavassa määrin haitallisia ominaisuuksia, jotka saattavat voimistaa kannanvaihtelua yleisesti, ja varsinkin säännöstellyissä järvissä.

siltä, että istutus tuottaa auringon 11-vuotisen syklin ja sitä vastaavan lämpötilavaihtelun mukaisesti (kuva 8), mikä on selvimmän todettu lohella. Vastaava pätee myös taimeneen, sekä meri- että sisävesialueella (Lind 1987).

Säännöstellyissä järvissä ja tekojärvissä on periaatteessa enemmän "uutta" ja vuosittain vaihtuvaa vettä kuin luonnontilaisissa. Tämän mukaisesti säännöstellyissä järvissä veden laadun on todettu muuttuneen lähinnä alkaliniteetin osalta, arvosta 0.30 arvoon 0.15 (Lind 1978). Edellinen merkitsee sitä, että syyskutuissa kaloilla saatetaan esiintyä lisääntymishäiriöitä, sitä enemmän mitä matalammalla laji kutee. Siian onkin osoitettu kärsineen säännöstelystä (esim. Lind 1978), mutta muikun ei (Aass 1972, Lind 1976 b). Kun mätää lisäksi tuhoutuu talvella veden laskun myötä, voinee säännöstelyn katsoa jyrkentävän luontaista kannanvaihtelua. Ilmiötä ei kuitenkaan ole osoitettu luonnossa. Toisaalta sään-

KIRJALLISUUS

Aass, P. 1972. Age determination and year-class fluctuations of cisco, *Coregonus albula* L., in the Mjøsa reservoir, Norway. Rep. Inst. Freshw. Res. Drottningholm 52: 5-22.

Alasaarela, E., Hellsten, S., Huusko, A. & Tikkanen, P. Käsikirjoitus. Ekologiset näkökohdat eräiden Pohjois-Suomen järvien säännöstelyssä. Projektin esittely ja yleistutkimukset. VTT:n Rakennuslaboratorio, Oulu, 52 pp.

- Douglass, A.E. 1919 and 1928. Climatic cycles and tree-growth. I and II. Carnegie Inst. of Washington 289: 1-127 and 1-166.
- Hakala, T. 1910. Pohjois-Karjalan kalastusoloista. Suomen Kalastuslehti 19: 121-123.
- Hartmann, J. 1984. 11-year cycle of spawning time and growth of the whitefish (*Coregonus lavaretus*) of Lake Constance. Schweiz. Z. Hydrol. 46: 163-170.
- Huntsman, A.G. 1937. The cause of periodic scarcity in Atlantic salmon. Trans. Roy. Soc. Canada 31: 17-27.
- Huuskonen, S. 1981. Ovatko muikkukannan jaksottaisuusilmiöt seurausta vedenlaadun vaihtelusta? Suomen Kalastuslehti 88: 70-72.
- Järvi, T.H. 1920. Die Kleine Maräne *Coregonus albula* L. im Keitelsee. Ann. Acad. Scient. Fenn. Ser. A 14 (1): 1-301.
- Labitzke, K. & van Loon, H. Associations between the 11-year solar cycle, the QBO, and the atmosphere. J. Atmos. Terr. Phys., in press (According to Kerr, R.A. 1987, Science 238: 479-480).
- Lind, E.A. 1976 a. The age-class cycle in some populations of *Coregonus albula* (L.) in Finland. Rev. Trav. Inst. Peches marit. 40: 654-656.
- Lind, E.A. 1976 b. Riippuvuus ympäristötekijöistä ja lajinsäiset suhteet eräissä Suomen muikkupopulaatioissa. 109 pp. Oulu.
- Lind, E.A. 1978. Jumiskojoen rakentamisen ja säännöstelyn aiheuttamat kalataloudelliset haitat sekä niiden korvaus ja kompensointi. Moniste 105 pp. Helsinki.
- Lind, E.A. 1979. Fish community structure in lakes of Finland with special regard to yield. NCE-Symp. "Ecol. Fish. Biol. of Small Forest Lakes", Lammi, Finland, 15-17 Nov. 1978: 68-73.
- Lind, E.A. 1980. Long-term trends in river and off-shore exploitation of the salmon, *Salmo salar*, in Finland. Proc. Techn. Consult. "Allocation Fish. Res.", Vichy, France, 20-23 April 1980: 249-254.
- Lind, E.A. 1981. Kalayhteisöistä ja kalansaaliin riippuvuustekijöistä. Sem. "Kalatalouden Kehittämisenäkymät Kainuussa", Kajaani, 2 Maa 1981: 17 pp.
- Lind, E.A. 1987. Taimenistutuksen tuottavuudesta ja sen vaihtelusta. Suomen Kalastuslehti 94: 240-244.
- Lind, E.A. & Kaukoranta, E. 1974. Characteristics, population structure and migration of the whitefish, *Coregonus lavaretus* (L.), in the Oulujoki river. Ichthyol. Fenn. Borealis 1974: 160-217.

- Lind, E.A. & Peiponen, V.A. 1985 a. Muikun, *Coregonus albula* (L.), kannanvaihtelun riippuvuus veden laadusta ja auringon aktiivisuudesta. (Summary: Population fluctuation of *Coregonus albula* (L.) in relation to water quality and solar activity). Univ. Joensuu, Publ. Karelian Inst. 71: 221-232.
- Lind, E.A. & Peiponen, V.A. 1985 b. Auringonpilkut kalankasvatustajina. Suomen Kalankasvattaja 1985 (4): 68-69.
- Lind, E.A. & Peiponen, V.A. 1986. Lohikalojen kannanvaihtelun riippuvuus auringon aktiivisuudesta. Urheilukalastus 1986 (7): 46-49.
- Lind, E.A. & Peiponen, V.A. 1987. Population fluctuation as biological basis for coregonid management in Finland. Int. Symp. Biol. & Management Coregonids, Joensuu, Finland, 24-28 Aug. 1987: 34 pp.
- Lindroth, A. 1950. Fluctuations of the salmon stock in the rivers of northern Sweden. Svenska Vattenkr. Fören. Publ. 415: 99-224.
- Nikolskii, G.V. 1969. Theory of fish population dynamics. 323 pp. Edingburgh.
- Nordqvist, H. 1944. Några synpunkter på fiskevården i sydsvenska sjöar. Skr. S. Sveriges Fisk. Fören. 1944: 1-21.
- Olson, M. 1980. Solar tracks in the snow. Science 118 (20): 213, 316.
- Parker, B.C. & Zeller, E.J. 1980. Nitrogenous chemical composition in antarctic ice and snow. Antarctic J. of U.S. 15 (5): 79-81.
- Piekkola, S. & Lind, E.A. 1981. Koon ja ikäluokkarakenteen vaihtelu eräissä Suomen muikkupopulaatioissa talvella 1979-1980. (Size and age class variation in some Finnish populations of *Coregonus albula* (L.) in 1979-1980). Kursimoniste 80 pp. Oulu.
- Pohtila, E. 1980. Climatic fluctuations and forestry in Lapland. Holarctic Ecology 3: 91-98.
- Reid, G.C. 1987. Influence of solar variability on global sea surface temperatures. Nature 329 (6135): 142-143.
- Salojärvi, K. Manuscript. Why do vendace (*Coregonus albula* L.) populations fluctuate? Aqua Fennica, in press, 10 pp.
- Pulkkinen, V. 1965. Puruveden kalastusoloista. Suomen Kalastuslehti 72: 184-190.
- Svårdson, G. 1955. Salmon stock fluctuations in the Baltic Sea. Rep. Inst. Freshw. Res. Drottningholm 36: 226-262.
- Wartiovaara, J. 1975. Jokien ainevirtaamista Suomen rannikolla. Vesientutkimusl. Julk. 13: 1-54.

3

7

4

5